مقالات نووية

ألانسان وترويض المارد النووي

ممدوح فتحي عبد الصبور/الاستاذ الدكتور
أستاذ البيئة بقسم بحوث الاراضي و المياه
مركز البحوث النووية
هيئة الطاقة الذرية
القاهرة – مصر

الناشر المؤلف

E-mail: freemfs73@Yahoo.com

مقالات نووية (١)

مصادر التلوث الإشعاعي

ومساراته في البيئة

مقدمة:

في نهايات القرن العشرين ازداد الاهتمام العالمي والمحلي بمتطلبات حماية البيئة والمحافظة عليها من التلوث بل إعادة إصلاح ما أفسده الإنسان نتيجة للممارسات الخاطئة والتي أثرت على منظومة البيئة ومكوناتها وانعكست بآثار ضارة على ألإنسان . ومن أوضح الأمثلة على ذلك حادثة تشرنوبل عام ١٩٨٦ وما صاحبها من انتشار العديد من الملوثات المشعة في العديد من الدول الأوربية غرباً وشمالاً وما سببه ذلك من تلوث إشعاعي واسع في العديد من أراضي الدول المختلفة وبالتالي تلوث المنتجات الزراعية والصناعية وما سببه ذلك من قلق عالمي لحكومات وجماهير الدول المختلفة حتى الآن.

لقد كانت عواقب الكارثة أكبر مما كان متوقعاً من جانب الكثيرين من العلماء وظهر من نتائج مأساة تشرنوبل أنها يحق مأساة ذات أبعاد كوكبية في الأرض كلها فقد انتشرت إشعاعات البلاتونيوم مسافة أبعد من المنطقة العازلة بحوالي ٣٠ كم وتأثر أناس كانوا يعيشون على بعد مئات الكيلومترات من تشرنوبل وقد تعرض مليونان و٢٠٠ ألف شخص من شعب روسيا البيضاء وحدها إلى تلوث دائم بدرجات متفاوتة كذلك تلوثت ربع مساحة الأراضي الزراعية.

وبعد أكثر من عشر سنوات تبقى هذه الكارثة علامة سوداء في سجل خطايا البشرية في حق أرضهم.

مصادر التلوث الإشعاعي:

تنقسم مصادر التلوث الإشعاعي إلى قسمين رئيسيين:

أولا: مصادر طبيعية

تعتبر الأشعة الكونية أحد مصادر التلوث الإشعاعي الطبيعية وكذلك الإشعاعات الصادرة من الأراضي المحتوية على صخور تدخل في مكوناتها عناصر مشعة مثل اليورانيوم والثوريوم ونواتجهما الوليدة ويزداد تركيز هذه العناصر المشعة في الصخور الجرانيتية في حين يقل في الصخور الرملية والرسوبية كذلك تحتوي التربة على نسبة ضئيلة من الكالسيوم -٤٨ ، والبوتاسيوم-٤٠ والأخير موجود بنسبة ٠,٠١% في البوتاسيوم الطبيعي وتنبعث من نواتجه ١٩٠٠ جسيم بيتا/دقيقة/جرام.

وبعد غاز الرادون-٢٢٢ المشع لجسيمات ألفا وغاز الثورن-٢٢٠ (مشع لجسيمات ألفا أيضاً) من المصادر الهامة للتلوث الإشعاعي خاصة في الأماكن العميقة وبدروم المساكن حيث تتصاعد هذه الغازات من القشرة الأرضية نتيجة لاضمحلال الإشعاعي للراديوم والثوريوم وتوجد نسبة صغيرة منها في الهواء ولهذا يجب الاعتناء بتهوية الأماكن المغلقة في المساكن خاصة الدور الأرضي منها.

ثانيا- المصادر غير الطبيعية (من صنع الإنسان):

وهي تشمل جميع المصادر الصناعية أو تلك التي تنتج عن نشاطات الإنسان وتجاربه المختلفة في المجالات النووية.

١ - صناعات استخراج خامات الصخور المشعة وعمليات تصنيعها وتركيزها:

وتنشط معظم الدول في التنقيب عن خامات اليورانيوم سواء لأغراض التجارة أو التصنيع النووي حيث يوجد حالياً أكثر من ١٦ دولة تقوم باستخراج اليورانيوم من مناجمه على مستوى إنتاجي كبير. ونتيجة لذلك تزداد الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها العاملون والمقيمون في مراكز هذه الأنشطة نتيجة لانبعاث غاز الرادون -٢٢٢ وانتشار الأتربة الحاملة للمواد المشعة من نواتج اضمحلال اليورانيوم (مثل الثوريوم – ٢٣٠ والراديوم – -٢٢٦) مما يزيد من احتمالات خطر التعرض الإشعاعي خاصة في مناطق تخزين الخام قبل أو بعد تركيزه. ولا يفوتنا أن ننوه أن استخراج خامات البترول والوقود الأحفوري وكثير من الخامات الأخرى عند تصنيعها وتركيزها تنطلق بعض الشوائب الحاملة لنويدات مشعة أيضاً إلى البيئة المحيطة بكميات متفاوتة حسب التاريخ الجيولوجي والجيوكيميائي لمادة ألأصل.

٢- المفاعلات النووية ومفاعلات الطاقة الكهربية:

يوجد في الوقت الحالي ٤٢٤ مفاعل قوي تعمل في ٢٩ دولة لإنتاج الكهرباء وحوالي ٤٠ وحدة تحت الإنشاء بالإضافة لما يزيد عن ٤٠٠ مفاعل أبحاث تعمل بمختلف الدول وينتج عن التشغيل العادي لهذه المنشآت كماً هائلاً من النفايات المشعة تتضمن العديد من النظائر المشعة للعناصر فوق اليورانيوم ومجموعة كبيرة من نواتج الانشطار النووي والنظائر المشعة لعناصر الأيدروجين والكربون والسيزيوم والكوبالت والحديد والمنجنيز والزنك والكريبتون واليوم وغيرها.

٣- الحوادث النووية وتجارب الأسلحة النووية:

كانت تجارب الأسلحة النووية من أهم مصادر انتشار نواتج الانشطار النووي في البيئة في الستينيات وبعد توقيع اتفاقيات دولية بحظر الاختبارات النووية بجميع أشكالها ووضع أسلوب رقابة دولية لمتابعة الحظر أصبح هذا المصدر نسبياً غير مهم بالمقارنة بالحوادث النووية كمصدر رئيسي لتلوث البيئة. وجدول (١) يوضح كمثال ما تم رصده من نظائر مشعة انطلقت لكارثة مفاعل تشرنوبل عام ١٩٨٦.

٤- تكهين المنشآت النووية وإزالة تلوث منشآت الصناعة النووية:

سوف تعتبر هذه الأعمال في المستقبل القريب مصدراً لنوعيات متباينة من النفايات المشعة تتضمن العديد من المعدات والمواد التي لا يتيسر إزالة ما بها من تلوث إشعاعي فمن المتوقع أن يتم تكهين ما يزيد عن ٦٠ مفاعل قوى بحلول عام ٢٠٠٠ بالإضافة إلى ٢٠٠ مفاعل بحوث سواء لعدم مواءمتها لسبل الآمان المتطور أو لبلوغ البعض منها ما يزيد عن العمر الافتراضي (٣٠عاماً).

٥- الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية (في مجالات الطب والصناعة والزراعة والبحوث العلمية):

مع التطور السريع في مجالات الاستخدامات السليمة للطاقة الذرية يتم حالياً استخدام النظائر المشعة والمصادر الإشعاعية في العديد من المجالات الطبية والصناعية والزراعية وبحوث التطوير المختلفة ويمكن القول أن معظم الدول النامية منها يتجمع بها كميات متباينة من النفايات المشعة المختلفة نوعاً وكماً طبقاً للأنشطة المختلفة بها وتتصدر المستشفيات والمعاهد الطبية ومراكز البحوث قائمة المنشآت التي يتجمع بها كميات متزايدة من مختلف النفايات المشعة المحتوية على التريتيوم ونظائر الكربون – ١٤، واليود –١٢٥، والفسفور –٣٢ ، والكبريت –٣٥ ويليها كما النفايات المحتوية

على نظائر الاسترانشيوم -٨٥، والسيزيوم-١٤١ والاسكانديوم -٤٦ ، والقـصدير - ١١٣، والسيزيوم-١٣٧ وغيرها. وتتجمع تلك النفايات في صور مختلفة صلبة أو سائلة وبقايا حيوانات تجارب- ومحاليل كيماوية - حقن طبية - زجاجات ملوثـة وغيرهـا، وتعتبر هذه المجموعة من النفايات الأكثر حساسية عند التداول لما قد يصاحب معالجتها من مخاطر قد تؤدي إلى معدلات تلوث مرتفعة للبيئة المحيطة. ومن سجلات الوكالـة الدولية للطاقة الذرية أنه منذ عام ١٩٤٤ حتى ١٩٩٣ بلغ عدد حوادث التلوث الإشعاعي من هذه النفايات ٣٦١ حادثة أدت إلى وفاة حوالي ١٢٠ شخص وتعرض حوالي ٢٧٢١ فرد.

المصادر المشعة المغلقة ومخاطر والتداول غير الواعي:

تستعمل المصادر الإشعاعية المغلقة في العديد من الدول النامية لإجراء بعـض القياسات الصناعية أو في التشخيص أو العلاج الطبي ويكثر تواجدها ضمن مكونـات عدد من الأجهزة التي يتم تصنيعها طبقاً لاعتبارات وقائية تضمن التشغيل الآمن فيمـا خصصت له من أغراض وغالباً ما تكون تلك المصادر على هيئة أقراص أو أعمـدة وتكون محكمة التغليف بمغلفات صلبة أو برقائق من عنصر البلاتين أو التيتانيوم كما قد يستخدم الذهب أو الفضة أو عدد من سبائك النحاس لهذا الغرض مما يتيح تداول هـذه المصادر المغلقة بصورة آمنة وضمان عدم تسرب أي مكونات مشعة إلى الإنـسان أو البيئة.

وبالرغم من إتباع الإجراءات الوقائية طوال فترة اسـتعمال أي مـصدر مـن المصادر الإشعاعية المغلقة إلا أنه في أغلب الأحوال يتم إهمال متابعة إجراءات الوقاية بالنسبة للمصادر التي يتقرر عدم استعمالها ويزداد مكمن الخطورة واحتمالات الحوادث الآن لعدم توفر بيانات عن عدد وأماكن المصادر المستعملة والتي انتهى الغرض مـن استعمالها في العديد من الدول النامية وتكمن مصادر الخطورة لمصادر الراديوم مـثلاً في أن فترة نصف عمر الراديوم ١٦٠٠ عام ونتيجة لاضمحلاله ينتج غاز الرادون - ٢٢٢ المشع مما يزيد من الضغط الغازي داخل مخلفاته وبالتالي يزيد من احتمـالات تسربه منها للبيئة المحيطة. وقد تضمنت التقارير المنشورة بيانات عن بعض الحوادث التي نتجت عن سوء استعمال أو تخزين المصادر المشعة المغلقة إلا أنه لا يوجد حصر كامل بجميع الحوادث وتبين من الوثائق المعلنة حدوث عشرة حوادث خلال الفترة من ١٩٦٢-١٩٩٠ منها خمسة حوادث ناتجة عن سوء الاستعمال وأخطاء أثناء التـشغيل

وخمسة أخرى نتجت عن مصادر تم الاستغناء عنها من الخدمة. وتم حصر ٢٤ حالـة وفاة من بينها خمسة أفراد من العاملين بمنشآت المصادر المغلقة و١٩ فرداً من الجمهور (جدول ٢) بخلاف المصابين بجرعات إشعاعية مرتفعة في كلتا الحالتين، وقد تبين في جميع الحوادث أن الإصابات الناتجة عن المصادر المستبعدة من الخدمة تزيد كثيراً عن تلك التي تحدث نتيجة أخطاء في التشغيل ويرجع السبب في ذلك إلى الإهمال في تطبيق أعمال الرقابة الإشعاعية على المصادر المغلقة الغير مستعملة وأماكن التخزين أو التحفظ عليها ولذلك نواجه في معظم الحالات بأفراد من الجمهور يتعاملون مع مصادر إشعاعية لها خطورتها دون وعي ودراية مما يزيد من معدلات التعرض الإشعاعي لمزيد من الأفراد ويتضح ذلك خلال الثلاثين عاماً الماضية فبالرغم من انخفاض عدد الحوادث الإشعاعية عموماً إلا أن عدد الأفراد المصابين يتلقى جرعات إشعاعية مرتفعة في تزايد مستمر نتيجة لانعدام الرقابة أو الإهمال في متابعتها في معظم الحالات. ولا يقتصر هذا النوع من التلوث على الدول النامية فقط ولكن البعض منها يحدث في عدد من الدول المتقدمة، فمثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية تم اكتشاف ١٨٠ قطعة من المجوهرات الذهبية ملوثة إشعاعياً نتيجة لاستعمال بعض رقائق الذهب الذي سبق استعماله في تغليف المصادر الإشعاعية في صناعة المجوهرات وتم تداولها خلال الفترة من ١٩٥٠–١٩٨١، وتبين إصابة مستعمليها بالتهابات جلدية وسرطان جلد.

جدول(٢): عدد الوفيات الناتجة عن حوادث بعض المصادر الإشعاعية ومنشآتها.

Year	Location	Type of radiation Source/application	Fatalities	
			Worker	Public
1962	Mexico City	Lost radiography source		4
1963	China	Seed irradiator		2
1975	Breccias, Italy	Food irradiator	1	
1978	Algeria	Lost radiography source		1
1981	Oklahoma, USA	Industrial radiography	1	
1982	Norway	Instrument sterilizer	1	
1984	Morocco	Lost radiography source		8
1987	Galatia, Brazil	Stolen heliotherapy source		4
1989	El Salvador	Sterilization facility	1	
1990	Israel	Sterilization facility	1	
			5	19

Total 10 events with 24 fatalities
Note: Accidents caused by x-rays , accelerators, medical treatment and reactors or critical assemblies are not include.
Source: Oak Ridge Associated University, USA

سبل ومسارات الملوثات المشعة في البيئة:

يتعرض الإنسان إلى المصادر الطبيعية والصناعية المشعة عن طريقين رئيسيين وهما التعرض الداخلي (ويتضمن امتصاص المواد المشعة من مصدر خارجي بواسطة الاستنشاق أو الهضم أو التخلل من الجلد) وفي هذه الحالة تتعرض أنسجة الجسم في كافة الاتجاهات. والتعرض الخارجي)عند التعرض المباشر لمصدر مشع) ، ويتوقف مصير النويدات المشعة المنطلقة في البيئة على خواصها الكيميائية والطبيعية ، الكمية المنطلقة ، طبيعة المنظومة البينية والمسارات الحرجة للنويدات المشعة والحدود المتحكم أو مسموح بانطلاقها.

١- المسارات المباشرة:

أ- الانتشار الجوي:

ويعتبر من أهم عوامل انتقال المواد المشعة الناتجة عند حدوث تسرب إشعاعي إلى الأجواء المحيطة وسرعة انتشارها عبر الحدود الإقليمية بين الدول المجاورة مما يؤثر مباشرة على الإنسان نتيجة الهواء الملوث إشعاعياً وتساقط الغبار الذري على المسطحات الزراعية ومصادر المياه في المناطق الآهلة بالسكان، ويتوقف مدى تأثير الانتشار الجوي للمواد المشعة على مستواها الإشعاعي والأحوال الجوية بالمناطق المعنية وارتفاع مصدر التسرب الجوي عن مستوى الأرض ومعدل انتشار الغبار الذري بعيداً عن مصدر التلوث ولهذا يجب إجراء دراسات استرشادية للوقوف على مدى انتشار المواد المشعة في الأجواء المحيطة بالمنشآت النووية تحسباً لما قد يحدث من حوادث تؤثر على البيئة والإنسان.

ب- الانتشار المائي:

يعتبر انتشار الملوثات الإشعاعية في مصادر المياه السطحية والجوفية من أهم المسارات التي توصل المواد المشعة إلى الإنسان وطبعاً يتوقف أثرها على معدل التخفيف وكمية مياه الصرف الملوثة والمستوى الإشعاعي وعمق نقطة التصرف وعلى دورة المواد المشعة بين الوسط المائي وما يحتويه من مواد رسوبية ومواد عضوية وعادة يميل معدل توزيع الملوثات الإشعاعية إلى التجانس في المصادر المائية كلما

بعدنا عن مصدر التلوث ويعتمد مستوى التلوث الإشعاعي المباشر للإنسان على ما يتعاطاه من مياه وسوائل ملوثة أما في التلوث غير المباشر يتوقف على ما يتناوله من أغذية ملوثة بالنفايات المشعة مثل الأسماك والأعشاب البحرية والطحالب وبعض المنتجات الزراعية الأخرى.

٢- المسارات غير المباشرة:

المسارات غير المباشرة لانتقال المواد المشعة إلى الإنسان من مكونات البيئة المختلفة نتيجة لادمصاص وترسيب بعض الملوثات الإشعاعية في قاع الأنهار والبحيرات وعلى الأرض الزراعية وما ينتج عنه من انتقال إلى سلسلة الغذاء ويعد من أهم هذه المسارات الحرجة لانتقال الملوثات الإشعاعية للإنسان.

أ- سلسلة الغذاء:

تعتبر من أهم المسارات الحرجة والهامة في سرعة انتقال الملوثات الإشعاعية من مكونات البيئة للإنسان ويتوقف تأثيرها على العوامل الآتية:

١- طبيعة المناطق الملوثة.

٢- المكونات الأكثر انتشاراً من الملوثات.

٣- مستوى التلوث الإشعاعي.

٤- مكونات السلسلة الغذائية بالمنطقة والعادات الغذائية للسكان.

ويبين الجدولان (٣-١ ، ٣-٢) دور العادات الغذائية على مدى التعرض الإشعاعي للأفراد من القاطنين بجوار بعض المنشآت النووية أو ببعض المدن الساحلية بإنجلترا.

جدول (٣-١): تأثير العادات الغذائية على معدل التلوث الإشعاعي للإنسان

عدد الأشخاص	المنطقة بإنجلترا	نوع الغذاء	كمية الغذاء (جرام/يوم/شخص)	المستوى الإشعاعي (بيكوكوري/جرام غذاء)	محتواه نظير مشع
١٠٠	وندسكيل	أعشاب بحرية	٨٠	٣٠٠	روتينيوم-١٠٦
٥٠	برادويل	قواقع بحرية	٧٥	٢٩٠٠	خارصين-٦٥
١٠٠	هنكللي	**أسماك وجمبري**	٩٠	٤٩٠	سزيوم-١٣٧

جدول (٣-٢): تأثير طبيعة المناطق على تركيز المواد المشعة بالإنسان خلال السلسلة الغذائية:

العنصر المشع	عدد المدن	التركيز في المواد الغذائية (بيكوكوري/جرام غذاء)	التركيز في الإنسان (بيكوكوري/جرام غذاء)
الراديوم-٢٢٦	٢٥	٠,٤٤	١,٦٠
البوتاسيوم-٤٠	٩	٩٨٠	٣٤٠٠
الرصاص -٢١٠	٩	٠,٧	٢,٤

* البيكوكوري=٠,٠٣٧ من البيكريل

وهناك العديد من الدراسات عن سلوك بعض النظائر المشعة الأكثر خطورة على الإنسان والتي يحتمل وجودها ضمن ملوثات البيئة المحيطة منها على سبيل الخصوص بعض النويات الحرجة مثل الاسترانشيوم -٩٠، والسيزيوم-١٣٧، والسيريوم-١٤٤، ومن العناصر المتطايرة والمؤثرة على صحة الإنسان اليود - ١٣١ ، والراتينيوم -١٠٦ ، وتتحدد دورة انتقالها إلى الإنسان طبقاً لخواص كل منها على الوجه التالي:

١- الاسترانشيوم -٩٠، واليود-١٣١:

يعتبر كل منهما من المكونات الرئيسية في الغبار الذري نتيجة للحوادث النووية وتترسب بكثرة في المراعي والأعشاب ثم تتناولها الأغنام والأبقار ثم تتركز تباعاً في الألبان ومنتجاتها ومن ثم تصل الإنسان كما يتركز السيزيوم -١٣٧ في اللحوم والألبان، كما تتركز هذه المواد المشعة في عظام وأنسجة العديد من المنتجات البحرية والتي تشكل مصدراً أساسياً لغذاء سكان المدن الساحلية.

٢- الألبان ومنتجاتها:

يتوقف تأثير هذا المسار على معدل التلوث السطحي للنباتات والمسطحات الأرضية أو المالية ومدى تلوث الحشائش التي تتغذى عليها الأبقار أو الحيوانات الثديية المنتجة للألبان ويمثل معامل الانتقال النسبة المئوية لتحول المواد المشعة إلى الألبان من مجمل المستوى الإشعاعي لما يتعاطاه الحيوان من مواد غذائية يومياً في كل لتر من اللبن المنتج وقيم معامل الانتقال تختلف باختلاف النويات الحرجة المتعارف عليها فهي في حدود ٠,١٢ - ٢,٤% بالنسبة لليود - ١٣١، ٠,٥-٠,٢٢% للاسترانشيوم -٩٠، ٠,٢٥-١,٢ بالنسبة للسيزيوم-١٣٧ ، وهناك العديد من الدراسات لتحديد معامل الانتقال لعدد من العناصر الهامة بالنسبة لحياة الإنسان من أعلاف الحيوانات إلى الألبان

ومنتجاتها وتشير بعض المراجع إلى أن قيم معامل الانتقال تتراوح من ١-٤% لكل من الصوديوم والبوتاسيوم والخارصين، ٠,١-١٠% للكالسيوم والحديد والكوبلت، ٠,٠١-٠,١% للباروم والتلوريوم والبلوتونيوم والسريوم في الألبان ومن الجدير بالذكر أن قيم معامل الانتقال ترتفع في منتجات الألبان الملوثة إشعاعياً فمثلاً وجد أنه في حالة اليود ١٣١ تصل إلى ٢,٧% اللبن المنزوع الدسم والزبدة والجبن والقشدة في حين أن معامل انتقال الاسترانشيوم -٩٠ بلغ حوالي ٠,٧% لكل جرام من الزبدة، ٦,٨ للجبن الحلوب، ٠,٣٤% للجبن الشيدر وبالنسبة للسيزيوم -١٣٧، فتتراوح هذه القيم بين ٠,٦ - ١,٤% ، ١,٣-٦,٢%، ٠,٦-١,٤% لكل منهما على التوالي.

٣- الأسماك والمنتجات البحرية:

تعتبر من أهم المصادر للغذاء الآدمي ويتم تراكم العناصر المشعة في الحيوانات البحرية والطحالب خاصة التي تعيش بالقرب من القاع وتم تحديد معامل التراكم الحيوي والذي يمثل معدل تركيز العنصر أو نظيره في الأحياء المائية بالنسبة لتركيزه في الوسط المائي. كما في جدول (٤) ، ويمكن القول بصفة عامة أن معظم العناصر تتركز في العديد من الأسماك التي تعيش في المياه العذبة عنها في المياه المالحة بخلاف عناصر الحديد والكالسيوم والتلريوم واليود التي ثبت تركيزها في الأسماك الأكثر تواجداً في المياه المالحة ويتوقف معدل تركيز المواد المعدنية في الأسماك والمنتجات البحرية على مستوى التلوث الإشعاعي والكيميائي للمصادر المائية ونوع الأسماك.

Table (4) :Bioaccumulation factors for aquatic organisms

Fresh water					Salt water			
Element	Fish	Crustacean	Mollusks	Algae	Element	Fish	Crustacean	Algae
II	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1
Na	100	200	200	500	1	1	1	1
P	100000	20000	20000	500000	10000	10000	10000	100000
Cr	20	2000	2000	4000	100	1000	1000	1000
Mn	400	90000	90000	10000	3000	10000	50000	10000
Fe	100	3200	3200	1000	1000	4000	20000	6000
Co	50	200	200	200	100	10000	300	100
Ni	100	100	100	50	500	100	100	100
Rb	2000	1000	1000	1000	30	50	10	10
Sr	30	100	100	500	1	1	1	20
Y	25	1000	1000	5000	30	100	100	300
Zr	300	6.7	6.7	1000	30	100	100	1000
Nb	30000	100	100	500	1	1	1	20
Y	25	1000	1000	5000	30	100	100	300
Zr	300	6.7	6.7	1000	30	100	100	1000
Nb	30000	100	100	800	100	200	200	100
Mb	10	10	10	1000	10	100	100	100
Te	15	5	5	40	10	100	100	1000
Ru	10	300	300	2000	3	100	100	1000
Rh	10	300	300	200	10	100	100	100
Te	400	75	75	100	10	10	100	1000
1	15	5	5	40	20	100	100	10000
Cs	2000	100	100	500	30	50	10	10
Ba	4	200	200	500	3	3	3	100
La	25	1000	1000	5000	30	100	100	300
Ce	1	1000	1000	4000	30	100	100	300
Pr	25	1000	1000	5000	100	1000	1000	1000
Nd	25	1000	1000	5000	100	1000	1000	1000
W	1200	10	10	1200	10	10	100	100
U	2	60	60	0.5	10	10	10	67
Np	10	400	400	300	10	10	10	6

٤ ـ الغطاء النباتي:

عندما تتساقط النويدات المشعة والغبار الذري على سطح النباتات المنزرعة سواء بالترسيب أو سقوط الأمطار وعندما يستهلك الإنسان الخضروات أو الفاكهة الملوثة بهذه الملوثات المشعة فإنها قد تشكل خطراً بسيطاً نظراً لسهولة إزالة التلوث إلا في حالة اليود إذا استهلك فور تساقطه على النبات. ويتوقف مدى امتصاص النبات لمثل هذه المواد المشعة على الخواص الطبيعية والكيميائية للتربة والنويدات المشعة أيضاً.

٥ – الرصد الإشعاعي في مكونات البيئة والموارد الغذائية:

العناصر المشعة الهامة:

بالنسبة للتعرض الإشعاعي الداخلي من تناول طعام أو ماء أو من تلوث مواد البيئة التي تكون مسارات لتلوث الطعام فإن أهم النويدات المشعة التي تنتج عن تشغيل المفاعلات ذات الوقود النووي هي:

مشاعات جاما: I-131, Cs-137 , Cs-134

مشاعات بيتا Sr-90.89

مـــشاعات ألفـــا Cm-242, A m241, Pu-134+240, pu-234 وقـــد قـــسمت لجنـــة (UNSCEAR 1982) النويدات المشعة حسب أهميتها في المواد الغذائية والمواد البيئية على النحو التالي:

الوسط	النويدات المشعة
هواء	^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs
ماء	^{3}H, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs
تربة	^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs, $^{239+240}Pu$, ^{241}Am, ^{242}Cm
ألبان	^{89}Sr , ^{90}Sr, ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs
لحوم	^{134}Cs, ^{137}Cs
خضروات	^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{103}Ru, ^{141}Ce, ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{131}I, ^{106}Ru, ^{144}Ce
أغذية أخرى	^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs

٦- اعتبارات هامة في عمليات جمع وتحضير العينات:

١- جمع العينات:

في وقت جمع العينة يجب وضع بياناتها فوراً. وتلصق (أو تكتب) هذه البيانات على جانبي العينة، وتشمل هذه البيانات ما يلي: (التاريخ- الموقع - الوزن- حالة الجو - اسم جامع العينة...الخ). ويراعى أن تكون العينة ممثلة جيداً للوسط المأخوذ منـــه، وأن تكون مناسبة لعمليات التجهيز والعد الإشعاعي.

٢- التخزين:

بعد جمع العينة، يراعى تخزينها أو حفظها بطريقة مناسبة حتـــى لا تفـــسد أو تتحلل أو تتلوث. وهذا يستلزم استخدام مبردات ومجمدات أو إضافة مادة حافظة.

(Sodium bisulphate, alcohol or formaline) في حالـــة اللـــبن. وفـــي حالـــة التخزين الطويل للعينات فإنه من الأفضل تحويل العينات إلى شكل ثابت فور جمعهـــا. والتجفيف والحرق هما مناسبان لذلك.

والوعاء أو حاوي العينة هام أيضاً في حفظ العينـــة. فالأوعيـــة الزجاجيـــة أو المعدنية غير مناسبان بالمقارنة للأوعية البلاستيكية. فالمواد المشعة يقل امتـــصاصها

بواسطة الأسطح البولي ايثيلين عنها في الزجاجة. وإضافة قليل من الحمص يقلل ذلك الامتصاص أيضاً.

ويراعى نظافة المكان وبعده عن أي تلوث إشعاعي محتمل خارجي أو من عينة إلى أخرى. فأوعية جمع العينات تستخدم لمرة واحدة ويتم التخلص منها فور وصولها لمكان تحضير العينات.

٣- التجفيف والتبخير والحرق:

عملية تجفيف العينة تقلل من حجمها مما يسمح بتخزين أطول. والعينات يمكن تجفيفها عند ١٠٥ درجة مئوية في فرن تجفيف بدون فقد أي نويدات مشعة ما عدا اليود. ويستمر التجفيف لمدة كافية حتى وصول وزن العينة إلى وزن ثابت. والوزن الرطب أو الطازج Fresh weight والوزن الجاف مطلوبان لكل عينة.

والتبخير هي الطريقة المتبعة لتركيز السوائل. ولا يستخدم اللهب المباشر أو (Hot plate) حتى لا يفقد جزء السائل بسبب طرطشة العينة أثناء الغليان. ويستحسن استخدام لمبات التسخين في ذلك.

والحرق (aching) يتم للعينات التي تم تجفيفها من قبل في أفران تتفاوت درجة حرارتها لا تتعدى ٤٥٠ درجة مئوية. والوقت الذي قد تستغرقه هذه العملية هو حوالي ١٦-٢٤ ساعة. وفي حالة تحليل الاسترانشيوم فقط فتستخدم درجة حرارة تصل إلى ٦٠٠ مئوية . وإلى جانب عملية الحرق الجاف هذه توجد عملية حرق رطب (wet ashing) باستخدام الأحماض المناسبة ولهب.

٤- تجانس العينة:

ومادة العينة عادة يتم تجانسها بعد التجفيف أو الحرق. وتجانس العينة ضروري للغاية للحصول منها على عينة أصغر تكون ممثلة للعينة الأصلية وتتم عملية التجانس للعينة بواسطة خلاط أو طاحونة (Ball mill).

٥- أخذ العينات وتحضيرها:

٥-١ الهواء

تجمع الجسيمات المحولة في الهواء (airborne particulates) على ورقة ترشيح بواسطة موتور شفط هواء. وفي حالة وجود يود ١٣١ يضاف بين ورقة الترشيح والموتور علبة تحتوي على كربون منشط لامتصاص اليود المشع. والموتور مزود بقياس لكمية الهواء الذي يمر من المرشحات.

ويبين الجدول رقم (٢) عدد من المرشحات المستخدمة في ذلك المجال وكفاءتها. ويجري قياس هذه المرشحات بعد ذلك في جهاز تحليل طيفي جامي. ويمكن بعد ذلك القياس حرق المرشح بالطريقة الجافة أو الرطبة (Wet or dry ashing) تمهيداً لتحليلها كيميائياً ويحسب النشاط الإشعاعي للعينة بالنسبة لكمية الهواء المسحوب (بيكريل/م٣).

٥-٢ الماء:

مياه الصنبور يمكن جمعها عند محطات ترشيح وتنقية المياه قبل إطلاقها في دورتها لتزويد المنازل بها. ويمكن أخذ العينة من محل الإقامة على أن يترك الصنبور مفتوحاً لمدة ٢-٣ دقيقة.

ولجمع عينة من مياه الأمطار، فقد يستخدم أحواض استقبال الأمطار بمسطح ٠,١ -١م٢. ومن الممكن استخدام أجهزة آلية لجمع عينة المطر وحماية حوض استقبال المطر من أية تساقطات جافة قبل سقوط المطر، ويفتح الجهاز ويغلق عند سقوط المطر وانقطاعه. وفي مناطق سقوط الثلوج تؤخذ عينة لمساحة ١م٢ وبعمق يشمل التساقط الحديث.

وجمع عينة مياه من الأنهار يتجنب المناطق الراكدة والآسنة وفي حالة البرك تؤخذ العينة بعيداً عن الشاطئ. عينة المياه التي تجمع يمكن حفظها لأي وقت، ويضاف حمض (ECl) بتركيز (11M) بنسبة ١٠سم٣ لكل لتر عينة وذلك قبل جمع العينة أو فور جمعها.

٥-٣ التربة

يجري جمع عينات التربة من مناطق مستوية ومفتوحة أمام العوامل الجوية ويفضل أن تكون الأرض مغطاة بالحشائش ولكن ليست مغطاة بالمزروعات أو المباني والأشجار. وألا يكون قد سبق جمع العينة مطر شديد مما يغسل التربة من محتواها الإشعاعي، وأن تحتوي لا يكون قد سبق زمن جمع العينة مطر شديد مما يغسل التربة من محتواها الإشعاعي. وأن تحتوي الأرض على أقل ما يمكن من ديدان الأرض ونبش القوارض حتى لا يؤدي إلى خلط التربة. ويجمع مع التربة ما يعلوها من حشائش.

ولدراسة النويدات المشعة بالتربة فيكتفى بعمق ٥سم في التربة أو حتى عمق الحرث.

ولدراسة التساقط فادة تستخدم آله مناسبة (حفار يدوي) معروف قطره (١٠سم) ففي حالة عمل ٢٠ عينة تكون المساحة التي يمثلها القياس هي (٢٠٠سم٢) وتمثل العشرين عينة واحدة مركبة.

تجفيف العينة عند ٥٠ درجة مئوية لمدة كافية وقد تفصل الحشائش والمكونات البيولوجية في التربة أو تضاف لها حسب الدراسة المطلوبة . الأحجار توزن وتطرد. والمكونات البيولوجية والحشائش والأحجار التي لم تدخل في القياس الإشعاعي تفيد في تقييم نوع تربة المنطقة. تطحن العينة بعد ذلك وتنخل بمنخل (حجم الخرم =٢مم). ويحدد النشاط الإشعاعي بالعينة بالنسبة للوزن الجاف (بيكريل/كجم) أو بالنسبة لمساحة الأرض (بيكريل/م٢).

٥-٤ الألبان

تؤخذ عينات الألبان من مراكز التصنيع أو من مزارع أو من حيوان محدد ولتخزين اللبن لمدة قصيرة فإنه يوضع في ثلاجات. في حالة التخزين لمدد أطول فتضاف مواد حافظة تمنع تحمض البن. هذه المواد هي الفورمالين أو مادة (sodium azide) بتركيز ٥% ، ويضاف ٣,٥سم٣ لكل لتر لبن.

جدل رقم (٢)

بعض مرشحات الهواء ومواصفاتها

الصنف	الاسم التجاري	الكفاءة %	المزايا والعيوب
سيليولوز	واتمان ٤١ بريطانيا	٦٥	• رخص السعر • قابلة للمعالجة الكيميائية • فقد جسيمات الفا بسبب وجودها في عمق ورقة الترشيح
سيليولوز+ اسبستوس	S-ROSEفرنسا NV 70أمريكا	%٦٩	• هشة • صعوبة المعالجة الكيميائية • فقد جسيمات ألفا
نسيج زجاجي	Aجيلمان أمريكا Eجيليمان أمريكا	%٩٩	• هشة • مناسبة لجسيمات ألفا • مناسبة للمعالجة الكيميائية • احتوائها على K-40
مرشحات عضوية:	AA Membrane (0.8 um)أمريكا	%٩٩,٩٩	• هشة • مرتفعة السعر • مناسبة لعدد جسيمات ألفا
	Nuclepore (0.8 um)أمريكا		• مرتفعة السعر • مناسبة للتحليل بالتنشيط الإشعاعي

٥-٥ الأغذية:

يؤخذ في الاعتبار أن صنف الغذاء الذي يمثل ٥% أو أكثر من مجمل الطعام الذي يؤكل، يجب أن يجمع للتحليل الإشعاعي. ويفضل التحليل الإشعاعي لكل صنف على حده بدلاً من تحليل خليط الوجبة اليومية للمواطن. وأصناف الطعام التي تحتوي على تركيزات عالية من الإشعاع معروفة للسلطات الصحية من خلال الخبرة المكتسبة في ذلك المجال. وتستخدم هذه المعرفة في حالات الطوارئ (الحادثة الإشعاعية) للمسح الإشعاعي السريع والتركيز على أصناف من الطعام محددة مسبقاً.

وتجمع أصناف الطعام من مراكز الإنتاج أو أسواق البيع. ويجب تجهيز أصناف الطعام كما هو متبع في كل منزل. وعادة يشمل ذلك التنقية للحبوب وغيرها وفصل التالف من الأصناف الورقية أو الثمرية. ثم الغسيل وفصل الأجزاء التي لا تؤكل مثل القشور والسيقان والجذور، والعظام من اللحوم والدواجن والأسماك ويلزم الحصول على (١) كيلو جرام صافي من كل صنف طعام بعد هذه العمليات. وعند حرق العينة ترفع درجة الحرارة تدريجياً وببطئ حتى الوصول إلى الحد الأقصى لدرجة الحرارة (٤٠٠-٤٥٠ درجة مئوية) ويستمر الحرق عند الدرجة لمدة ١٦-٢٤ ساعة. وتؤخذ أفران قابلة للبرمجة على هذا التشغيل.

<u>٦- التحليل الكيميائي والإشعاعي:</u>

٦-١ التحليل أو الفصل الكيميائي:

في حالة تحديد النويدات مشعات بيتا (وألفا) ، يجب فصل هذه النويدات عن غيرها والتي قد تتواجد معها في العينة. ومثال لذلك فصل عنصر السترانشييوم ٩٠,٨٩ (مشع بيتا) وكذلك فصل البلوتونيوم -٢٣٦ والأميريسيوم -٢٤٣ (مشعات ألفا) .

٦-٢ الكواشف الإشعاعية:

طريقة العد الإشعاعي للعينة تختلف تبعاً لنوع الإشعاع الصادر من العينة وبالتالي يختلف الكاشف الإشعاعي المستخدم والتصميم الإلكتروني للجهاز. ويبين الجدول التالي اختلاف نوع الكاشف مع نوع الإشعاع (جدول رقم ٣) .

٤ – المجموعة الحرجة والممر الحرج والنويدات الحرجة:

المجموعة الحرجة: تمثل الأفراد من الجمهور والمتوقع أنهم يستقبلون أعلى جرعة مكافئة من الإشعاع. ويجب أن تكون المجموعة صغيرة حتى يتم التجانس بينهم بالنسبة للسن والطعام وطرق المعيشة... وحدود الجرعة المكافئة للفرد من الجمهور تطبق على متوسط الجرعة المكافئة في المجموعة الحرجة.

جدول رقم (٣)

مناسبة الكشف الإشعاعي مع نوع الإشعاع

نوع الإشعاع	الكاشف الإشعاعي			
	أنبوبة جايجر G. M. tube	بللورة يوديد الصوديوم Na (T1)	بللورة الجرمانيوم HPGe	مطياف السوائل L. S. C
ألفا	+	---------	------	+++
بيتا	+ +	+	------	+ +
جاما	+	+ +	+ + +	+

النويدات المشعة الحرجة: وهي النويدات المشعة التي تمثل المشاركة الأكبر في الجرعة المكافئة.

الممرات الحرجة: هي الممرات التي يتم المشاركة الأكبر في الجرعة المكافئة.

والفكرة الأساسية للمجموعة الحرجة هي حجمها . وفي حالة خاصة قد يكون من الأصوب أن تحدد الجرعة في هيئة فرد واحد نظرياً. وعادة تكون المجموعة الحرجة لا يمثلها فرد واحد ولا عدد كبير من الأفراد حتى لا يفقد التجانس بين الأفراد . فالعادة أن تكون المجموعة الحرجة مكونة من عشرات قليلة من الأفراد. وفي حالات قليلة يكون الجمهور ككل معرضاً موحداً، وفي هذه الحالة تزن المجموعة الحرجة كبيرة.

وفي حسابات الجرعة المكافئة للمجموعة الحرجة يؤخذ في الاعتبار معدل استهلاك الطعام ومؤشرات أخرى عن الإقامة والهضم وغيرها.

التعرض للإشعاعات المؤينة:

هو أول مراحل احتمالية حدوث إصابة ناتجة عن هذا التعرض. وينقسم التعرض الإشعاعي إلى تعرض خارجي وتعرض داخلي. والتعرض الخارجي هو

التعرض للطاقة الإشعاعية من الفوتونات أو الجسيمات الإشعاعية المنبعثة من مصدر موجود خارج الجسم- وأن الطاقة الإشعاعية تمتص من خارج الجسم إلى داخله طبقاً لأليات امتصاص الطاقة الإشعاعية والقوانين المحددة لها.

أما التعرض الداخلي فهو التعرض داخلياً نتيجة دخول مادة مشعة إلى داخل الجسم عن طريق التنفس أو البلع أو عبر الجلد . وهذه المادة المشعة تسري في داخل الجسم من مكان لآخر طبقاً لخصائصها الكيميائية وتتعرض أنسجة الجسم إلى نتائج انحلال المادة المشعة الموجودة بداخله (فوتونات جاما، جسيمات ألفا، جسيمات بيتا).

وهذه الإشعاعات تعطي طاقاتها المختلفة إلى أنسجة الجسم القريبة من مكان تواجد المادة المشعة داخل الجسم – ويعتبر التعرض الإشعاعي الداخلي أكثر تعقيداً من التعرض الإشعاعي الخارجي فيما يخص صعوبة تقدير الجرعة الداخلية وصعوبة السيطرة على سلوك المادة المشعة داخل الجسم. ويستعان في هذا الأمر بسبل التقنين البيولوجي لإفرازات الحسم وكذلك العداد الكامل للإنسان لمعرفة مواقع المادة المشعة داخل الجسم وكمياتها.

امتصاص الطاقة الإشعاعية:

ويتم ذلك عن طريق انتقال الطاقة من الأشعة إلى الأنسجة ويتم بدقة متناهية وتعتمد على أصول علم ميكانيكية الكم وتختلف الآليات باختلاف نوع الأشعة (فوتونات، جسيمات مشحونة- ألفا – بيتا ، جسيمات متعادلة – نيوترونات) – ولكل نوع من هذه الأنواع آليات معروفة – وتسحب الجرعة الممتصة حسب مقدار الطاقة الممتصة داخل وحدة كتلة من الأنسجة.

المرحلة الفيزيوكيميائية:

وهذه المرحلة في تطور الإصابة الإشعاعية تخص امتصاص الطاقة الإشعاعية داخل روابط الجزيئات الكيميائية في الحيز البيولوجي- وينتج عن ذلك حدوث توتر أو تأين لهذه الروابط الفيزيوكيمائية في الجزيئات الكيميائية الموجودة في الحيز البيولوجي الذي تعرض والذي حدثت فيه عمليات امتصاص للطاقة. وينتج عن ذلك حدوث تغيرات في أداء ووظيفة الجزيئات الكيميائية التي حدث وتوتر وتأين لروابطها وتسمى تغيرات في الجزيئات . وتعتبر هذه المرحلة الأساس الذي سوف يترتب عليه تطور وظهور ونوعية الإصابة الناتجة من التعرض الإشعاعي.

* منظور تطور الإصابة الناتجة من التعرض للإشعاعات المؤينة التعرض للإشعاعات المؤينة.

هو أول مراحل احتمالية حدوث إصابة ناتجة عن هذا التعرض. وينقسم التعرض الإشعاعي إلى تعرض خارجي وتعرض داخلي. والتعرض الخارجي هو التعرض للطاقة الإشعاعية من الفوتونات أو الجسيمات الإشعاعية المنبعثة من مصدر موجود خارج الجسم- وأن الطاقة الإشعاعية تمتص من خارج الجسم إلى داخله طبقاً لآليات امتصاص الطاقة الإشعاعية والقوانين المحددة لها.

أما التعرض الداخلي فهو التعرض داخلياً نتيجة دخول مادة مشعة إلى داخل الجسم عن طريق التنفس أو البلع أو عبر الجلد. وهذه المادة المشعة تسري في داخل الجسم من مكان لآخر طبقاً لخصائصها الكيميائية وتتعرض أنسجة الجسم إلى نتائج انحلال المادة المشعة الموجودة بداخله (فوتونات جاما، جسيمات ألفا، جسيمات بيتا).

وهذه الإشعاعات تعطي طاقاتها المختلفة إلى أنسجة الجسم القريبة من مكان تواجد المادة المشعة داخل الجسم – ويعتبر التعرض الإشعاعي الداخلي أكثر تعقيداً من التعرض الإشعاعي الخارجي فيما يخص صعوبة تقدير الجرعة الداخلية وصعوبة السيطرة على سلوك المادة المشعة داخل الجسم. ويستعان في هذا الأمر بسبل التقنين البيولوجي لإفرازات الجسم وكذلك العداد الكامل للإنسان لمعرفة مواقع المادة المشعة داخل الجسم وكمياتها.

امتصاص الطاقة الإشعاعية:

ويتم ذلك عن طريق انتقال الطاقة من الأشعة إلى الأنسجة ويتم بدقة متناهية وتعتمد على أصول علم ميكانيكية الكم والكيف وتختلف الآليات باختلاف نوع الأشعة (فوتونات ، جسيمات مشحونة – ألفا – بيتا ، جسيمات متعادلة – نيوترونات) – ولكل نوع من هذه الأنواع آليات معروفة – وتسحب الجرعة الممتصة حسب مقدار الطاقة الممتصة داخل وحدة كتلة من الأنسجة.

المرحلة الفيزيوكيميائية:

وهذه المرحلة في تطور الإصابة الإشعاعية تخص امتصاص الطاقة الإشعاعية داخل روابط الجزيئات الكميائية في الحيز البيولوجي- وينتج عن ذلك حدوث توتر أو تأين لهذه الروابط الفيزيوكيميائية في الجزيئات الكيميائية الموجودة في الحيز البيولوجي الذي تعرض والذي حدثت فيه عمليات امتصاص للطاقة. وينتج عن ذلك حدوث تغيرات في أداء ووظيفة الجزيئات الكيميائية التي حدث توتر وتأين لروابطها وتسمى تغيرات

في الجزيئات . وتعتبر هذه المرحلة الأساس الذي سوف يترتب عليه تطور وظهور ونوعية الإصابة الناتجة من التعرض الإشعاعي.

وهذه المرحلة مهمة فيما يخص حدوث عمليات إصلاح في الجزيئات الكيميائية التي تأثرت بالتعرض الإشعاعي وامتصاص الطاقة الإشعاعية وتطور الإصابة الإشعاعية ومنتهاها يتوقف على مدى هذا الإصلاح ومقدار وحجم الأثر المتبقي بعد الإصلاح الذي يتم في الجزيئات.

تطور الإصابة إلى مستوى الخلايا والأنسجة والأعضاء:

التغيرات التي تحدث للجزيئات الكيميائية تشكل الأساس الذي يترتب عليه تطور وظهور الآثار الإشعاعية في الخلايا والأنسجة. ويتوقف حجم ونوعية وشدة هذه الآثار على عوامل كثيرة تخص النظام البيولوجي المتعرض للإشعاع وتخص أيضاً النظام الفيزيائي للأشعة الساقطة بكل جوانبه.

وجميع الأساسيات في هذا الشأن تقع تحت أسس البيولوجيا الطبية الإشعاعية التي تدرس بالتفصيل تطور الإصابة من تغيرات في الجزيئات الكيميائية إلى آثار تشكل خللاً في الخلايا والأنسجة والأعضاء الذي ينعكس على الجسم كله. وجميع مراحل تطور الإصابة مرتبط بعوامل كيميائية وفسيولوجية ووظيفية ومناعية كثيرة ومرتبطة بالأجهزة الكلية المسيطرة على كافة النظم البيولوجية وظهورها هو مقدار الجرعة الإشعاعية الذي تعرض لها الجسم وحجم الحيز المتعرض من الجسم.

أسس البيولوجيا الطبية الإشعاعية:

تفيد هذه الأسس أن تطور الإصابة الناتجة في الجسم البيولوجي بعد التعرض الإشعاعي يتوقف على خصائص نوع الإشعاعات التي يتعرض لها الفرد ومقدار الطاقة الممتصة في الحيز البيولوجي والجرعة الإشعاعية ومعدل تلك الجرعة. وتتوقف كذلك على مدى استجابة خلايا الحيز البيولوجي المتعرض للجرعة الإشعاعية الممتصة داخل هذا الحيز.

وكما سبق الذكر فإن أول مراحل تطور الإصابة الإشعاعية هو التعرض الإشعاعي الخارجي أو الداخلي ثم امتصاص كمية من الطاقة الإشعاعية داخل الحيز البيولوجي التي تسمى الجرعة الإشعاعية الممتصة. وتختلف آليات امتصاص الطاقة الإشعاعية داخل الحيز البيولوجي باختلاف أنواع الأشعة. ويترتب على ذلك معرفة مفهوم : " انتقال الطاقة الخطي " وهو متوسط كمية الطاقة المنقولة من الأشعة الساقطة

إلى الحيز البيولوجي في خط استقامة الأشعة الساقطة – وذلك بوحدة الإلكترون فولت في الميكرون. وتمتص هذه الطاقة في روابط الجزيئات المكونة للخلايا في الحيز البيولوجي. ونتيجة امتصاص الطاقة في الروابط تصبح هذه الروابط متوترة أو متأينة. وفي هذه الحالة تصبح الجزيئات في الحيز البيولوجي الذي تعرض للإشعاع والذي تم فيه امتصاص مقدار من الطاقة الإشعاعية– جزيئات بها روابط متوترة وروابط متأينة– وتعتبر هذه جزيئات متغيرة. ويتوقف عدد الجزيئات المتغيرة على مقدار الطاقة الإشعاعية الممتصة في الحيز البيولوجي.

وتنعكس التغيرات في الجزيئات على خلايا الأنسجة طبقاً لعدة عوامل أساسية هي عدد الجزيئات المتغيرة، نوعية الجزئي المتغير، حجم التغير، الإصابة المتبقية بعد عمليات الإصلاح التي تتم على مستوى الجزيئات في الحيز البيولوجي . وعمليات الإصلاح هذه تتوقف على قدرة الجزيئات على إصلاح الإصابة الغير قاتلة وبعد كل هذه العوامل التي تتحكم في تأثير الخلايا وإلى المدى الذي يتم به ذلك تبدأ الخلايا في إظهار جوانب التأثير المختلفة وهي تغيرات في الأداء والمسارات البيوكيميائية وتغيرات فسيولوجية، وتغيرات وظيفية وبعد ذلك قد تبدأ الخلايا في إظهار تغيرات تركيبية وذلك في حالات أن يكون التعرض لجرعة عالية كافية لأن تؤدي إلى هذه التغيرات التركيبية.

وتعتبر التغيرات والآثار والضرر الذي يحدث في الخلايا من أهم وأعقد الآليات وتنطوي في أساسه على تغيرات في المسارات البيوكيميائية داخل الخلية،وإصابة الأحماض النووية، والنظام الجداري للخلية، وفقدان الخلية القدرة على الانقسام ، واندثار الخلية، وحدوث كل هذه الآثار أو بعضها يتوقف على مقدار الجرعة الإشعاعية. وتنعكس الآثار التي تحدث في الخلايا على الأنسجة والأعضاء طبقاً لنوع وخواص الخلايا المكونة لهذه الأنسجة والأعضاء والأجهزة، وبناء على ذلك تنقسم الأجهزة المختلفة إلى نوعين– أجهزة ذات الخلايا المتجددة وأجهزة ذات الخلايا الثابتة.

وخصائص **الخلايا المتجددة** أنها ذات معدلات انقسام عالية وبذلك تكون لها استجابة عالية للأثر الإشعاعي. ومن أمثلة هذه الخلايا المتجددة – خلايا نخاع العظام – خلايا الغشاء المخاطي– وخلايا المناسب. وهذه الخلايا استجابتها لأثر الجرعة الإشعاعية استجابة عالية تؤدي إلى نقص أو انعدام في معدلات الانقسام أو وفاة الخلية في حالة التعرض لجرعة عالية. وفي هذه الحالة تتكون ظواهر مرضية تشكل آثار مرضية حادة تتوقف شدتها على مقدار الجرعة الإشعاعية التي تعرض لها الجسم.

أما **الخلايا الثابتة** فإن درجة استجابتها للأثر الإشعاعي ضئيل ومن أمثلة هـذه الخلايا- خلايا المخ والأعصاب والعضلات . وهذه الخلايا تحتاج إلى جرعة إشعاعية عالية (أعلى من التي تؤثر على الخلايا المتجددة) حتى تستجيب للأثر الإشعاعي. وهذه الاستجابة عند الجرعات الأعلى تظهر على هيئة تغيرات في فسيولوجية ووظيفة الخلية وتسبب اضطراب في وظيفة النسيج- وذلك دون حدوث وفاة حقيقيـة للخليـة. وهـذه التغيرات في فسيولوجية ووظيفة الخلية تؤدي هي أيضاً إلى ظواهر مرضية تشكل آثار مرضية حادة نتيجة الخلل الذي أصاب

الأنسجة ذات الخلايا الثابتة مثل أنسجة المخ والأعصاب والعضلات.

والفرق الوحيد بين استجابة الخلايا المتجددة والخلايـا الثابتـة فـي إحـداث الأعراض المرضية الحادة – هي مقدار الجرعة – فإن الخلايا المتجددة تحتـاج إلـى جرعة إشعاعية حوالي ٣-٦ جراي – والخلايا الثابتة تحتاج إلى أكثر من ١٠ جـراي حتى تظهر الأعراض المرضية الناتجة من تعرض أجهزة الجسم ذات الخلايا الثابتة.

والجانب الثاني للتعرض الإشعاعي هو التعرض لجرعات منخفضة عن طريق التعرض الإشعاعي الداخلي أو التعرض الإشعاعي الخارجي – وبناء على ذلك يصبح هناك تعرض إشعاعي لجرعات عالية تبدأ من ١,٥ إلى ٢ جراي فأعلى وهذه تؤدي إلى آثار مرضية حادة تسمى آثار مرضية مؤكدة تحديدية غير ستوكاستيكية – (الذي سبق الحديث عنها أعلاه) .

أما النوع الثاني هو التعرض لجرعات إشعاعية منخفضة الذي قد ينتج عنه آثار متأخرة احتمالية عشوائية وهذه الآثار تخضع لقانون الاحتمالات وغير مؤكدة الحدوث ولا تخضع لوجود عتبة أو حد أدنى للجرعة، وحدوثها داخل الخلايا والأنسجة حـدوث عشوائي. ومن أهم هذه الآثار هي التحول السرطاني للأنسجة والآثار الوراثية وتغيرات أخرى في الخلايا والأنسجة.

العوامل التي تؤثر على الاستجابة لحدوث الأثر الإشعاعي:

تنقسم هذه العوامل الى نوعين عوامل بيولوجية وعوامل فيزيائية:

العوامل البيولوجية:

- حجم الحيز البيولوجي المتعرض – كلما زاد الحجم كلما زادت الاستجابة للأثر الإشعاعي.

- معدلات انقسام الخلايا- كلما ارتفع معدل انقسام الخلايا كلما زادت درجة استجابة النسيج للأثر الإشعاعي.
- نوعية الأنسجة التي تعرضت للإشعاع- حيث أن الأنسجة ذات الخلايا المتجددة أكثر استجابة للأثر الإشعاعي عن الأنسجة ذات الخلايا الثابتة.
- نوعية الإصابة الإشعاعية التي حدثت على مستوى الجزيئات الكيميائية ودرجة هذه الإصابة وعدد الجزيئات المصابة.
- دجة القدرة الكامنة في الخلايا والأنسجة على إصلاح الإصابة التي حدثت الحيز البيولوجي.

العوامل الفيزيائية:

- مقدار الجرعة الإشعاعية الممتصة ومعدل هذه الجرعة.
- نوع الإشعاع – فوتونات أو جسيمات.
- الطاقة الإشعاعية المصاحبة للإشعاع.
- مقدار الطاقة الإشعاعية المنقولة خطياً من الإشعاع الساقط إلى الحيز البيولوجي .
- نوعية التعرض الإشعاعي – تعرض داخلي أو تعرض خارجي.
- الخواص الفيزيائية والكيميائية للنويدات المشعة التي تتسبب في التعرض الإشعاعي الداخلي.

أنواع الأضرار الصحية الناتجة من التعرض الإشعاعي.

تنقسم الآثار المرضية الناتجة من التعرض الإشعاعي إلى خمس أنواع رئيسية هي:

الآثار الوراثية، تشوهات في الجنين ، الطفرات في الجينات ، الآثار الحادة التحديدية، الآثار المتأخرة الاحتمالية – ويتضمن ذلك الآثار الناتجة عن التعرض الإشعاعي الداخلي- وفيما يلي ملخص لأهم الخواص لكل نوع على حده.

الآثار الوراثية:

وهذه الآثار هي التي تنتقل إلى الأبناء من الآباء الذين حدث فيهم أثر إشعاعي في خلايا المناسل وقد تظهر هذه الآثار الوراثية في الجيل الأول أو في الأجيال التالية. وقد تظهر في الصفات الخارجية للفرد أو قد تكون كامنة وتعتبر هذه الأثار أثار متأخرة

تخضع لقانون الاحتمال ومعظمها آثار ذات صفات متنحية وتفيد الدراسات أن هذه الآثار نادرة الحدوث في الإنسان حتى الآن- ولكنها درست في حيوانات التجارب.

تشوهات الجنين:

وهذه الآثار ناتجة عن التعرض الإشعاعي للجنين أثناء فترة التكوين والنمو داخل رحم الأم. ويتوقف درجة ونوعية الأثر الناتج على مقدار الجرعة الإشعاعية وأيضاً على الفترة الزمنية لعمر الجنين . وتهتم جميع الدوائر العلمية بهذا الشأن. والتوصيات الدولية تمنع التعرض الإشعاعي لمنطقة البطن والحوض للمرأة الحامل خلال التسعة أشهر للحمل وحتى الولادة. وتعتبر المدة طوال فترة الحمل مرحلة يكون فيها الجنين ذات حساسية واستجابة عالية للأثر الإشعاعي نظراً لمعدلات الانقسام العالية للخلايا وعمليات التميز والتحول وباقي العمليات المعقدة الدقيقة جداً التي تتم أثناء تكوين الجنين – وتعتبر جميع أنسجة الجنين ذات حساسية عالية للضرر الإشعاعي وخاصة أنسجة الجهاز العصبي والهيكل العظمي والعضلات في مرحلة تكوين الأعضاء في الجنين – وأنسجة خلايا نخاع العظم وغيرها في مرحلة نمو الجنين.

الآثار على الجنين:

وهذه الآثار تنتج من التعرض الإشعاعي للمادة الجينية (الأحماض النووية) وخاصة المادة المكونة للمشط الوراثي التي تمثل الشفرة الوراثية- وتسمى هذه الآثار في المشط الوراثي طفرات إشعاعية.

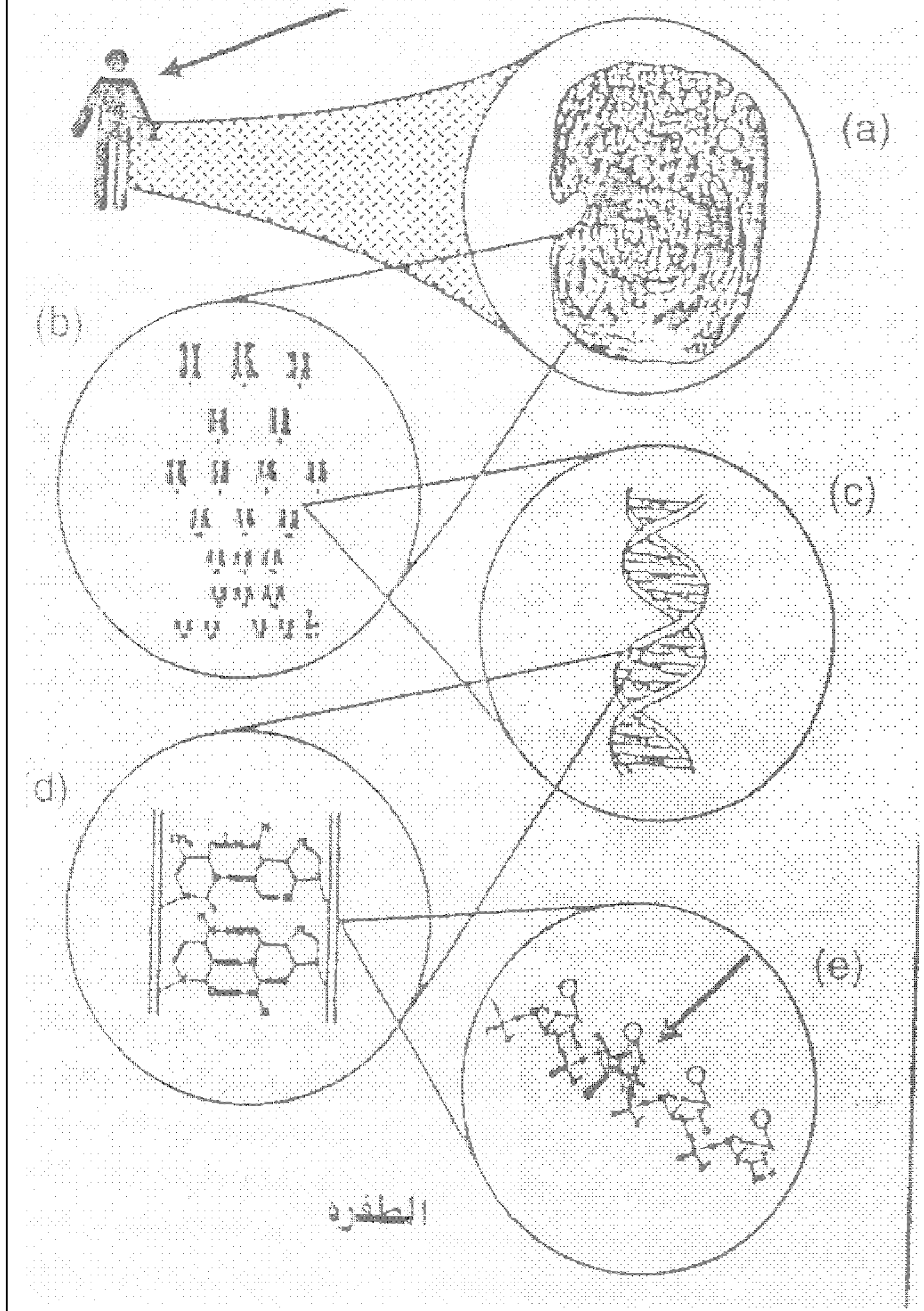
وتعرف الطفرة بأنها تغير ثابت في الصفات الكيميائية والفيزيائية والوظيفية والتركيبية للأحماض النووية. وتنقسم هذه الآثار إلى طفرات في الجينات وإصابات في تركيب المشط الوراثي. وخطورة هذه الطفرات أنها قد تشكل أساس لتطور غير سليم للخلية التي يحدث فيها هذه الطفرات – وهذه العلاقة علاقة احتمالية عشوائية. ومن بين هذه الطفرات ما هو مميت للخلية- ومنها ما يعطي إشارات غير صحيحة نتيجة الشفرة الخطأ الناتجة من وجود الطفرة.

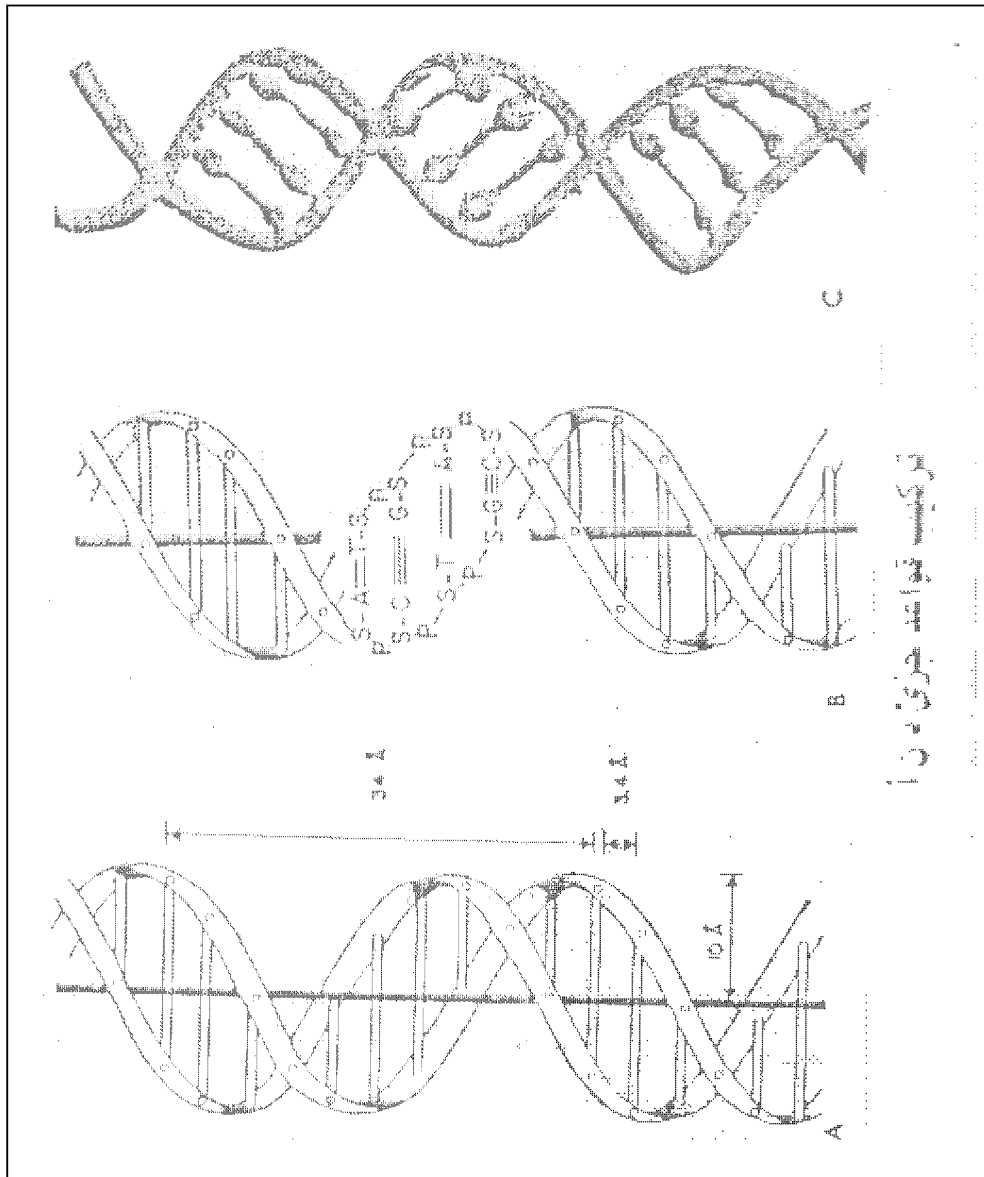
الآثار الحادة التحديدية الغير عشوائية:

هذه الآثار تحدث عادة بعد التعرض لجرعة إشعاعية عالية نسبياً تبدأ بعتبة للجرعة في حدود ١,٥-٢ جراي للجسم كله أو حجم كبير للجسم وهذا التعرض يحدث من جراء ظروف غير عادية مثل الحوادث الإشعاعية أو النووية مختلفة الحجم.

واحتمال حدوث مثل هذه الآثار الحادة صفر عند الجرعات المنخفضة التي تكون دون الجرعة العتبة بكثير.

ومن خواص هذه الآثار أنها مصحوبة بنسبة كبيرة لوفاة الخلايا المتجـــددة- أو بتغيرات فسيولوجية ووظيفية في الخلايا الثابتة. وكل نسيج من أنـــسجة هـــذه الخلايـــا المختلفة يحتاج إلى جرعة إشعاعية معينة لحدوث الأثر الإشعاعي الحاد في هذا النسيج.


الإشعاعات المؤينة
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
الطفرة


A
B
C

وعند التعرض الإشعاعي لكامل الجسم أو الحجم الأكبر من الجسم (الجذع والصدر والرأس) لجرعة عالية (الجرعة العتبة وأكثر) وتبدأ ظهور أعراض مرضية تنفق مع جهاز الجسم الأكثر إصابة بالجرعة وتتفق أيضاً مع مقدار الجرعة وهناك ثمانية مظاهر مرضية مطابقة لأجهزة الجسم هي:

- الحالة المرضية المصاحبة لتأثر خلايا نخاع العظام.
- الحالة المرضية المصاحبة لتأثر خلايا وأنسجة القلب والأوعية الدموية.
- الحالة المرضية المصاحبة لتأثر خلايا وأنسجة الجهاز التنفسي.
- الحالة المرضية المصاحبة لتأثر خلايا وأنسجة الجهاز العصبي المركزي.

وجميع هذه الحالات يصحبها حروق إشعاعية في الجلد وهبوط شديد في وظيفة جهاز المناعة وبعض حالات الاضطراب النفسي. وظهور أي من هذه الحالات المرضية يتوقف على صفة الخلايا المكونة لأنسجة الجهاز (خلايا متجددة مثل خلايا نخاع العظم وخلايا الجهاز الهضمي).

أم (خلايا ثابتة مثل خلايا القلب والجهاز التنفسي والجهاز العصبي) ويتوقف أيضاً على مقدار الجرعة الإشعاعية الممتصة. ففي حالة أنسجة الخلايا الثابتة تكون الجرعة العتبة اللازمة من ٧-١٠ جراي. وتقدر الجرعة الإشعاعية المميتة للإنسان حوالي ٥-٧ جراي لكامل الجسم.

الآثار المتأخرة الاحتمالية العشوائية:

هذه الآثار تظهر متأخرة التعرض الإشعاعي لجرعة منخفضة بدرجات معينة من الاحتمالية، وظهور هذه الآثار غير مرتبط بحد أدنى للجرعة، واحتمالية الظهور موجودة مع أي جرعة إشعاعية من مصدر إشعاعي من صنع أو تدخل الإنسان. وهذه الآثار لها فترة كمون لكي تظهر من ١٠-٢٥سنة. وقد دلت الدراسات أن الحدث المسبب لهذه الآثار هو إصابة ابتدائية في جزئي كيميائي ذات أهمية خاصة في الخلية مثل الأحماض النووية أو الجزيئات المكونة للجهاز الجداري للخلية. وهذه الإصابة تتطور مع الوقت حتى تظهر في هيئة وضع مرضي معين. وهناك الكثير من العوامل الغير معرفة والاستفسارات حول تطور مثل هذه الحالة – ولهذه الأسباب سميت هذه الآثار احتمالية وعشوائية.

ومن أهم أمثلة هذه الآثار المتأخرة الاحتمالية هو التحول السرطاني للخلايا والأنسجة والشيخوخة المبكرة وعتامة عدسة العين والنقص في الخصوبة. وتعتبر جميع

مراحل تطور هذه الآثار ناتجة عن عمليات بيولوجية عشوائية احتمالية لا تحديدية إطلاقاً لحدوثها. وقد وضعت الهيئات الدولية علاقة أساسية تربط بين الجرعة الإشعاعية المنخفضة وبين احتمال حدوث أثر إشعاعي متأخر – وهذه العلاقة مبينة بالرسم . وهناك علاقات أخرى أكثر تعقيداً ولكن هذه العلاقة هي العلاقة الأساسية التي بنيت عليها مفاهيم الوقاية من الإشعاعات المؤينة.

العوامل التي تزيد من احتمالية حدوث أثر ناتج من التعرض لجرعات منخفضة:

- زيادة التعرض للفرد من الجرعات المنخفضة.
- زيادة عدد الناس المتعرضين لجرعة منخفضة وفي هذا الخصوص فإن أهمية الجرعة الإشعاعية الجماعية أكبر من أهمية الجرعة الإشعاعية لفرد – حيث أن الجرعة الإشعاعية الجماعية هي المؤشر الحقيقي المخاطر من التعرض الإشعاعي للجماعة.
- هذه المفاهيم تبين أغراض الوقاية الإشعاعية والأمان النووي وهو الإقلال من التعرض الإشعاعي ما أمكن وبالتالي انخفاض الجرعة للفرد والمجموع.

الضرر الإشعاعي طبقاً لتوصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع:

أقرت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع وكذلك اللجنة العلمية لآثار الإشعاع بالأمم المتحدة فلسفة حدوث التأثيرات التحديدية والتأثيرات الاحتمالية بناء على وجود أو غياب حد أدنى للجرعة الإشعاعية. وذلك للتفرقة بين الجرعات الإشعاعية العالية – والجرعات الإشعاعية منخفضة المستوى. وهذه التفرقة توضح مستوى التعرض والاستجابة البيولوجية المتوقعة سواء نتيجة التأثيرات التحديدية التي لها حد أدنى للجرعة ، أو التأثيرات الاحتمالية التي ليس لها حد أدنى للجرعة.

وقد أقرت جميع المنظمات العلمية المعنية بآثار الإشعاعات المؤينة مبدأ العلاقة بدون حد أدنى للجرعة لبيان العلاقة بين الجرعات المنخفضة والاستجابة البيولوجية الاحتمالية – وأن هذه العلاقة تشتمل على مجاهل عديدة تتعلق بالنظام البيولوجي بتعقيداته ومتغيراته ، وكذلك الجرعة الإشعاعية المنخفضة ومعدلاتها وعواملها المختلفة، وكذلك ميكانيكية الإصلاح الخلوي، وكذلك آليات وميكانيكيات تطور الإصابة الناتجة من الجرعات المنخفضة خلال فترة الكمون الطويلة. والآليات والعوامل العديدة المتداخلة في التحول السرطاني للأنسجة – وبالتأكيد فإن الأمر يتطلب معلومات كثيرة أخرى لكي نفهم حقيقة ما يحدث داخل النظام البيولوجي في كل مراحل امتصاص

الطاقة الإشعاعية حتى مرحلة نشأة وتطور وظهور الأثر الناتج- وخاصة فيما يتعلق بالآثار الاحتمالية التي ليس لها حد أدنى للجرعة.

وفي بيان لتوصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (منشور رقم ٦٠ لسنة ١٩٩١) أعطت اللجنة المفهوم العلمي الحديث للضرر الإشعاعي وتستعمل اللجنة تعبير الضرر ليمثل جميع احتمالات حدوث أثر صحي مؤذي ، مع تقييم لشدة هذه الضرر – وكذلك المفهوم متعدد الأبعاد للتعبير عن مفهوم الضرر – ومكونات هذا المفهوم الإجمالي للضرر هي الكميات الاحتمالية التالية:-

(١) احتمالات حدوث سرطان قاتل.

(٢) احتمالات حدوث سرطان غير قاتل.

(٣) احتمالات حدوث تأثيرات وراثية.

(٤) طول الفترة الفاقدة من العمر في حالة حدوث الضرر.

وقد كانت التقديرات مبنية على أساس الدراسات الحديثة التي تمت على الأفراد الذين تبقوا على قيد الحياة من بين الذين تعرضوا لقنبلة هيروشيما ونجازاكي حتى عام ١٩٤٥ واستعمال نظام جديد لقياس الجرعة (DS86) وإسقاط الاحتمالات على مدى العمر باستعمال نماذج إحصائية وتحديد نوعية العلاقة بين الجرعة الإشعاعية والاستجابة البيولوجية التي تؤدي إلى آثار احتمالية متأخرة، والتي وجدت أنها خطية في أساسها. وقد استخرج المعامل الخطي للجرعات المنخفضة والمعدلات المنخفضة والمعدلات المنخفضة للجرعة من مقادير المخاطر العالية والمعدلات العالية للجرعة بالقسمة على ٢ وهي قيمة "معامل تأثير الجرعة ومعدل الجرعة" .

وهناك صعوبات وتعقيدات وعدم تأكيدات كثيرة متداخلة في تقدير احتمال مخاطر حدوث سرطان بعد التعرض الإشعاعي. لهذه الأسباب ولأن اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية قد قامت بتقدير المخاطر لمجموعة معينة من الناس وأشكال محددة من التعرض الإشعاعي فقد استعملت اللجنة تعبير " معامل الاحتمال الاسمي" للتأثيرات الاحتمالية العشوائية – وذلك للدلالة على "الاحتمال المقدر للآثار الاحتمالية لوحدة الجرعة المؤثرة".

وقد قدرت اللجنة أن معامل الاحتمال الاسمي لمجموع التأثيرات الاحتمالية المتأخرة المشكلة "للضرر" في العاملين المهنيين بمقدار ٥,٦ لكل ١٠ ^{٢} سيفرت $^{-١}$ ويقد كذلك في عامة الجمهور بمقدار ٧,٣ لكل١٠ ^{٢} سيفرت $^{-١}$ وهذه التقديرات تخص

الإشعات ذات الانتقال الخطي المنخفض والجرعة الإشعاعية الممتصة أقل من (٠,٢ جراي) ومعدل الجرعة (٠,١ جراي) في الساعة.

التعرض الإشعاعي الداخلي:

يعتبر التعرض الإشعاعي الداخلي أحد أنواع التعرض الإشعاعي وأكثرها تعقيداً . وهناك ثلاثة مداخل للتعرض الإشعاعي الداخلي وهي:

- عن طريق الجهاز التنفسي ويتم ذلك للنويدات المشعة الغازية مثل غاز الرادون أو أتربة النويدات المشعة. ويتوقف كمية المادة المشعة الداخلية إلى الجسم عن طريق الجهاز التنفسي على حجم العوالق في الهواء وتنتقل هذه النويدات المشعة من الجهاز التنفسي إلى الدورة الدموية أو إلى الجهاز الهضمي ومنه إلى الدورة الدموية.
- عن طريق الجهاز الهضمي ويتم ذلك للنويدات التي تصل إلى الفهم عن البلع للنويدات السائلة والصلبة أو المأكولات الملوثة. وتمر هذه خلال الأجزاء المختلفة للجهاز الهضمي حيث يتم امتصاصها في منطقة الأمعاء الدقيقة.

  ويتوقف درجة الامتصاص على درجة ذوبان هذه العناصر المشعة وعلى ذلك فإن النويدات ذات قدرة عالية للذوبان يسهل امتصاصها – وبعد الامتصاص تصل إلى الدورة الدموية ومنها إلى سائر أعضاء وأنسجة الجسم.
- عن طريق الجلد ويتم ذلك للنويدات الملامسة للجلد وخاصة جلد الأيدي الذي يكثر فيه التشققات والجروح – وتصل هذه النويدات مباشرة إلى الدورة الدموية أو الدورة الليمفاوية.

وتعتبر الدورة الدموية بمثابة الحيز الناقل الذي تصل إليه جميع النويدات ثم تدور من الدورة الدموية لتصل إلى الأنسجة المختلفة في الجسم. ويتعامل الجسم مع هذه النويدات طبقاً للخواص الكيميائية للعنصر– وجميع التعاملات للعنصر المشع داخل الجسم يتوقف على هذه الخاصة. ومن الآليات الهامة التي تتم داخل الجسم هي الانتقال من عضو إلى عضو آخر ومدة التواجد داخل الجسم – ومسارات الخروج من الجسم مثل البراز والبول والعرق .. الخ والأثر الناتج المادة المشعة داخل الجسم يتوقف على هذه العوامل ويتوقف أيضاً على عمر النصف للمادة المشعة ونوع الإشعاعات المنبعثة والطاقة وقدرة نفاذيتها والطاقة الإشعاعية المصاحبة.

ولقد قامت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية بعمل نماذج للجهاز التنفسي والجهاز الهضمي – وآليات مخارج المواد المشعة من الجسم وحساب الجرعة الإشعاعية الداخلية عن طريق معادلات رياضية لنماذج أعضاء الجسم التي تدخل في التعامل مع المادة المشعة. وتعتبر هذه المعادلات الرياضية في غاية الصعوبة نظراً للمتغيرات الكثيرة المتداخلة فيما يخص المادة ونشاطها الإشعاعي، ونوع الأشعة المنبعثة منها، وطاقتها الإشعاعية ، ودرجة نفاذيتها، وطول عمر النصف، وكميتها، ودرجة السمية الكيمائية ، وفترة مكوثها في النسيج ، وفترة مكوثها في الجسم.

وتفيد الدراسات المختلفة أن التعرض الإشعاعي الداخلي لا يؤدي إلى آثار حادة تحديدية وذلك لعدم وصول كميات المواد المشعة الداخلة إلى الجسم إلى كمية النشاط الإشعاعي الذي يسبب امتصاص طاقة إشعاعية مساوية لمقدار ٢ جراي وهي الحد الأدنى للجرعة التي تسبب الآثار التحديدية الحادة. ولكن من الممكن أن يسبب التعرض الإشعاعي الداخلي إلى احتمالات آثار متأخره – طبقاً لنوعية المادة المشعة في الجسم والأنسجة الحاوية لهذه المواد وعوامل كثيرة أخرى. وفيما يلي أهم النويدات المشعة التي لها أهمية بيولوجية وعمر النصف لها والنسيج الهدف الخاص بهذه النويدات.

المادة	عمر النصف	النسيج الهدف للمادة
هيدروجين H-3	١٢ سنة	سوائل الجسم والأحماض النووية
الكيرويبتون Kr-85	١٠ سنة	الرئة – أنسجة الجسم
الاسترونشيوم Sr-90	٢٨ سنة	الخلايا المبطنة للعظام
الاسترونشيوم Sr-90	٢٨ سنة	الخلايا المبطنة للعظام
الاسترونشيوم Sr-89	٥٠ يوم	الخلايا المبطنة للعظام
السيزيوم Cs-137	٣٠ سنة	عضلات الجسم
السيزيوم Cs-134	٢ سنة	عضلات الجسم
اليودI-131	٨ أيام	الغدة الدرقية
السيريوم Ce-144	٢٨٥ يوم	الكبد – القولون –العظام – الرئة
البلوتونيوم Pu-239	٢٤٠٠٠سنة	الكبد– العظام – الطحال
الراديوم Ra-226	١٦٠٠ سنة	الخلايا المبطنة للعظام
الرادون Rn-222	٣,٨ يوم	حويصلات الرئة غشاء الشعيبات
الكربون C-14	٥٧٦٠ سنة	الخلايا المبطنة للعظام

وتعتبر عمليات التقنين البيولوجي للمواد الخارجية من الجسم (البول – البراز) إحدى العمليات التي تتم للتعرف على المادة المشعة الموجودة في الجسم ومعدلات خروجها من الجسم – وكذلك القياسات التي تتم باستعمال العداد الكامل للإنسان الذي يساعد كثيراً في عمليات تقدير ومتابعة حالات التعرض الإشعاعي الداخلي وقياس الجرعة الإشعاعية الداخلية.

فلسفة الوقاية الإشعاعية:

حيث أن أساس العلاقة بين الجرعة الإشعاعية المنخفضة واحتمالية حدوث أثر متأخر هي علاقة خطية في أساسها بدون عتبة للجرعة (بدون حد أدنى للجرعة) – يجب أن يكون رسم السياسة العامة والفلسفة العلمية لعمليات الوقاية الإشعاعية والأمان النووي مبنية على هذا الأساس. وحيث أنه لا يوجد حد أدنى للجرعة المنخفضة يعني أنه لا يوجد جرعة آمنة مطلقاً– وأن أي قدر صغير من الجرعة الإشعاعية من خارج الأشعة الطبيعية القاعدية يقابله قدر صغير من الخطورة. والمهم في هذا الشأن أن الخطورة الفردية ضئيلة ولكن الخطورة الجماعية قد تشكل أمر يجب أخذه في الاعتبار في رسم السياسات من ناحية الوقاية الإشعاعية والذي يجعل الموضوع ذات أهمية خاصة_ هي قلة المعلومات المتاحة لدينا علمياً عن حقيقة الآثار المتأخرة المحتمل حدوثها نتيجة التعرض الإشعاعي لجرعة إشعاعية منخفضة ومعدل جرعة منخفض. وهذا الأمر يجعل الاهتمام بمفاهيم الوقاية الإشعاعية والأمان النووي أمراً ضرورياً واتباع التعاليم الوقائية والاحتياطات الآمنة أمراً لابد منه، وذلك للإقلال من الخطورة الفردية والخطورة الجماعية للإشعاعات المؤينة . ومن المعروف أن هذه التعاليم والاحتياطات للوقاية من مخاطر الإشعاعات المؤينة هي أكثر تثبيتاً وتطبيقاً واهتماماً من أي صناعة تكنولوجية أخرى.

كيفية حساب جرعة التعرض الإشعاعي:

يؤخذ في الاعتبار جميع المسارات الحرجة المسببة للتعرض الإشعاعي (مباشر أو غير مباشر) ومدى تأثير كل منهما على جسم الإنسان وعلى أعضاء الجسم الأكثر تأثيراً بالإشعاع مثل الجهاز الهضمي والأمعاء والعظام والغدد الدرقية والرئتين والعضلات والكليتين والكبد والطحال والأعضاء التناسلية ثم تحدد مستويات مجال التلوث فبالنسبة لتأثير الانتشار الجوي في حالة الحوادث النووية يتم حساب مستويات التعرض الإشعاعي لليود – ١٣١ طبقاً لمساراته بالسلسلة الغذائية ومدى تعرض

الإنسان لنواتج الانشطار النووي المشعة الأخرى خاصة غازات الكريبتون والزينيـون والترتيوم والرادون وهكذا بالنسبة لكل مسار على حده ويلخص الجدول (٥) كـل مـا يتعلق بمسارات التعرض الراديولوجي للأفراد نتيجة لمختلف سبل التعرض الإشعاعي للنظائر المشعة الأكثر خطورة كما يتضمن المسارات الحرجة المؤثرة على ما يتعرض له الإنسان من جرعات إشعاعية سواء بطريقة مباشـرة أو نتيجـة لتعـاطي أغذيـة ومشروبات ملوثة إشعاعياً مع تحديد أعضاء الجسم الأكثر تأثيراً في كل حالة.

Table (5): Radiological exposure pathways

Transfer mode	Critical radionuclides	Critical exposure pathways	Critical organ
Airbirne	1-131, Cs – 134 , Cs-137, H-3 and radioisotopes of noble gases	Air inhatation, ground deposition, leafy vegetabtes and grass-cow milk	Thyroid gland, skin, and whote body.
Water	H-3, I-131, Sr- 89, Sr, 90, Cs-134, Cs-137, radiostopes of transition metals (Fe, Co, Ni, Zn, Afn)	Drinking water, fish consumption, fish consumption, shell fish, food consumption and submersion.	Whole body, thyroid gland, GI tract.
Milk	Sr, 89, Sr-90, I-131, Cs-134 and Cs-137	Grass-cow-milk and ingestion of milk products	Whole body, Gt tract.
Other food	Sr-89 , sr- 90 , Cs-134 , Cs-137	Fish constmption. Consumption of negetables and fruits	Whole body, GI tract
Vegetation	**Sr-89 , Sr-90, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Ru-106, I-131, Ce- 141, Ce-144**	Grass-cow-milk, Consumption of leafy negatbles and fruits	Thyroid giand, whole body , GI tract.
Soil	Sr-90, Cs -134 , Cs-137 , Pu-239 , 240 Am-241 and Cm 242	Ground deposition and external exposure,	Whole body

النفايات المشعة:

تعتبر النفايات المشعة من أهم مصادر التلوث الإشعاعي لمكونات البيئة وتتجمع النفايات المشعة في صور مختلفة (غازية وسائلة ومواد صلبة) ويمكن تقـسيمها إلـى مجموعتين طبقاً لطبيعة ما بها من نوويات مشعة فهي إما في نفايات مـشعة قـصيرة العمر وتحتوي على نظائر مشعة يتراوح نصف عمرها حتى ٣٠ عامـاً ومجموعـة نفايات المشعة طويلة العمر وتضم باقي العناصر ذات فترة نصف عمر أكبر مـن ٣٠ عاماً.

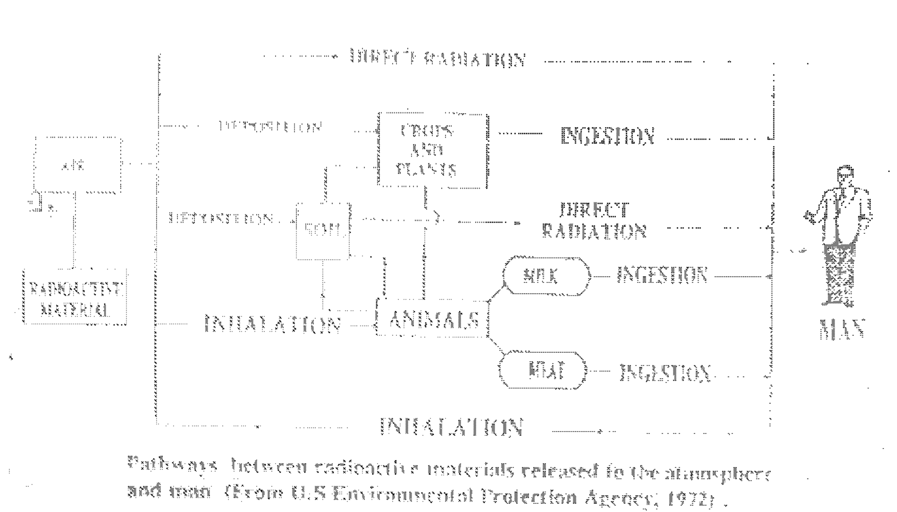
كما يمكن تقسيم النفايات طبقاً لما هو متعارف عليه بشأن تداول وإدارة النفايات حيث تصنف طبقاً لمستوياتها الإشعاعية إلى ثلاثة مستويات وهـي النفايـات المـشعة المنخفضة والمتوسطة والعالية المستوى الإشعاعي.

أ- نفايات منخفضة المستوى ($١٠^{-٩}$ إلى $١٠^{١}$ كيوري / م٢):

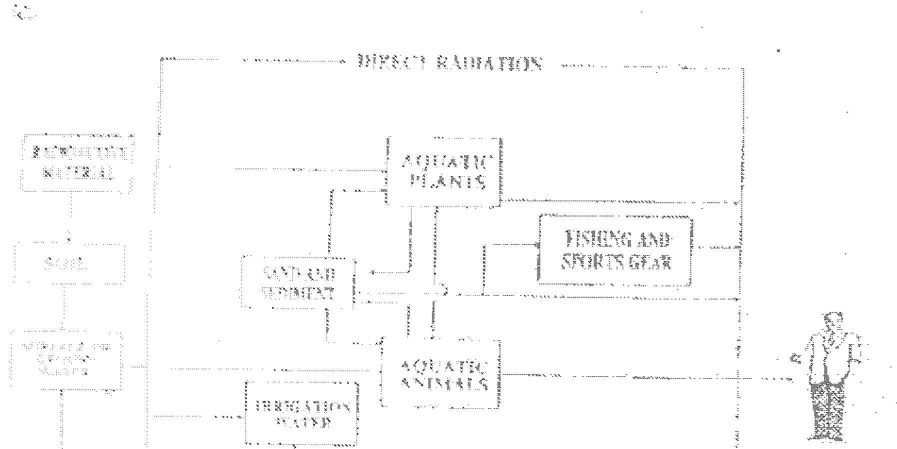
وتشمل عادة نفايات الاستخدامات الطبية والصناعية للمــواد المــشعة وبعــض النفايات النووية وهي عادة تحتوي علىمواد مشعة ذات فترات نصف عمر إشــعاعي قصيرة وتحتوي كميات ضئيلة جداً من المواد المشعة ذات فترات نصف عمر طويــل كما تتضمن زجاجات وأجهزة ومعدات صغيرة ملوثة إشعاعياً ومواد ورقيــة وثيــاب ملوثة وفلاتر مستعملة وغيرها ويتم التحفظ على هذه النفايات بعد تركيزها وتعبئتها ثم تخزينها في أماكن خاصة أو بالزمن بالقرب من سطح الأرض لمدة ١٠٠ عام.

ب- نفايات متوسطة المستوى الإشعاعي (١٠$^{-١}$ إلى ١٠^{٤} كيوري/م٢)

وتشمل بعض نواتج الانشطار النووي وبعض المواد المشعة وأحيانــاً بعــض المواد الإكتينيدية ذات فترات نصف العمر الإشعاعي الطويلة ويتولد عنها عادة انبعاث حراري بسيط ويتطلب الأمر استعمال تدريجاً خاص في عمليات النقل والتعامل مع هذه النفايات وتتضمن عادة الراتنجات المستهلكة بعد استعمالها في تنقية مياه التبريــد فــي المفاعلات والمنشآت النووية وبقايا تركيز الكيماويات المجمعة من مختلــف المعامــل وعمليات المعالجة الكيميائية وقبل التخلص من هذه النفايات يجب تــدريجياً والــتحفظ عليها في أعماق متوسطة في منشآت خاصة لذلك على عمق ١٠٠-٦٠٠م ولمدة ٦٠٠ عام.



Pathways between radioactive materials released to the atmosphere and man (From U.S Environmental Protection Agency, 1972).



ج- نفايات عالية المستوى الإشعاعي (أكبر من ١٠ ^٤^ كيوري/م٣):

وتنتج عادة من عمليات إعادة معالجة الوقود النووي بعد احتراقه لفصل مركبات عنصري اليورانيوم والبلوتونيوم ولذلك تحتوي على كم لا بأس به من عناصـــر فـــوق اليورانيوم ونواتج انشطاره ومعظم النويات لها فترة نصف عمر طويلة ويعتبر الوقـــود النووي المحترق قبل معالجته كيميائياً من النفايات المشعة مرتفعة المستوى كمـــا قـــد تحتوي مشعات ألفا أيضاً أما بالنسبة لنواتج الانشطار الناتج من عمليات إعادة المعالجة فيتم تثبيتها في كتل زجاجية للتحفظ عليها في منشآت خاصة بجوار مصدر إنتاجها قبل أن يتقرر التخلص منها في مناطق جيولوجية مستقرة ومناسبة لهذا الغرض على أعماق أكبر من ١٠٠م ولمدة ألف سنة.

كيفية تداول النفايات المشعة:

من أهم الطرق المعترف بها طوال ٣٥ عاماً الماضية تعتبر التقنيات المتبعـــة حالياً في دور النضوج ومن ثم يوجد عدد من البدائل للتداول والتحفظ الآمن على تلـــك المخلفات حتى يضمحل ما بها من مواد مشعة مثل عمليات الكبس لتقليل حجم النفايات الصلبة الغير قابلة للحرق وحرق الأوراق والملابس والفلاتر الملوثة إشعاعياً وعمليات الترسي الكيميائي والترشيح والبخر الحراري والتبادل الأيوني لمختلف السوائل ثم تثبيت ما يتبقى من خبث وركائز للرواسب المشعة ضمن كتل مصلدة في خلائط أســـمنتية أو في الإسفلت أو في بعض البلمرات الراتنجية ويمكن التخلص من الكتل المـــصلدة فـــي ترنشات أسمنتية بالقر من سطح الأرض أو في أماكن تخزين خاصة مع دوام الرقابـــة على مواقع التخزين لفترات قد تصل إلى ٣٠٠ عام.

وقد تم في جمهورية مصر العربية إقامة وتشغيل منـــشآت لمعالجـــة النفايـــات المشعة السائلة منخفضة ومتوسطة المستوى بطرق كيميائية مختلفة وبالبخر الحـــراري وتصليد ما يتبقى من رواسب مشعة في كتل أسمنتية يتم التحفظ عليها فـــي ترنـــشات خرسانية كما تم تشغيل محرقة للإقلال من حجم المواد الصلبة.

ومع دخولنا في القرن ٢١ فإن البشرية لا تستطيع الاستغناء عن الاستخدامات السليمة للذرة وعليه فيجب الاعتراف بأن النفايات المشعة هي ناتج طبيعي لهذه الاستخدامات يمكن التعامل معه بسلامة وآمان وفاعلية ويجب أن نأخذ الحقائق الآتية في الحسبان:-

١) أن النفايات المشعة حقيقة يجب ويمكن التعامل معها.
٢) يمكن قياس الإشعاعية بدقة فائقة.
٣) أن الكمية الكلية من النفايات المشعة صغيرة نسبياً عند مقارنتها بأنواع النفايات الصناعية الضارة الأخرى.
٤) تثمن النفايات عالية الإشعاعية جزء صغيراً جداً من النفايات المشعة الكلية.
٥) التخزين الآمن للنفايات بجميع أنواعها.
٦) لا تشكل كلفة التخلص من النفايات سوى جزء بسيط من التكلفة الكلية لإنتاج الكهرباء بالطاقة النووية.

ملحق (١) وحدات قياس النشاط الإشعاعي

حتى وقت قريب كانت الوحدة الأساسية لقياس الشدة الإشـعاعية للعينـة هـي الكوري (Ci) Curie وأجزاءه هي:

المللي كوري (mci) والميكروكوري (uci)

ويعرف الكوري بأنه الشدة الإشعاعية (عدد في الثانية الواحدة) لجرام واحد من الراديوم.

وجد بعد المعايرة أن الشدة الإشعاعية (الكوري) = ٣,٧ × ١٠ تفكك في الثانية وأجزاءه هي:

مللي كوري 1mci = ٣,٧ × ١٠ تفكك في الثانية

ميكروكوري 1mci =٣,٧ × ١٠ تفكك في الثانية

وينتج عن التفكك الواحد عادة جسيم مشحون (بيتا وألفا) الوحدة العيارية الدولية للشدة الإشعاعية هي البيكريل (Becqurel).

البيكريل: عبارة عن تفكك نووي واحد في الثانية وبمقارنة البيكريل بـالكوري نجد أن البيكريل وحدة صغيرة جداً لذا تستخدم مضاعفات البيكريل وهي:

<u>وحدات القياس الإشعاعية:</u>

١- البيكريل Becqurel (Bq)

يطلق هذا الاسم على الوحدة الخاصة بقياس إشعاعية المادة (Activity).

ويعرف واحد بيكريل بأنه تحلل نواة مشعة في الثانية الواحدة.

الرونتجن Roentgen (R)

هي الوحدة الدالة على التعرض الإشعاعي وتعتبر مقياس للتأين الناتج في الهواء سواء بتأثير أشعة جاما أو أشعة أكس وتستخدم مقـاييس الجرعـة الجيبيـة (Pocket Dosimeter) لقياس وتسجيل التعرض الإشعاعي بمدلول هذه الوحدة.

٣- الراد (RAD)

هذه وحدة قياس الجرعة وتقيس الوحدة قيمة الطاقة الممتصة في المـادة عـن طريق الإشعاع المؤين.

٤- الجراي Gray (Gy)

وحدة قياس الجرعة الممتصة ١ جراي = ١٠٠ راد

مكافئ الجرعة:

مع أن كمية (جرعة الامتصاص) فكرة فيزيائية مفيدة فهي لا تعكس مفهوم أن نفس الدرجة من التلف في الأجهزة البيولوجية تنتج بالضرورة عن نفس جرعة امتصاص الأنواع المختلفة من الإشعاع ولقد وجد على سبيل المثال أن ٠,١ جراي (راد) من النيوترونات السريعة يمكنها إحداث تلف بيولوجي أكبر مما يحدثه نفس المقدار من أشعة جاما وهذا الفرق في التأثير البيولوجي يجب أخذه بنظار الاعتبار إذا ما رغبنا في جمع جرع من مختلف الإشعاعات لإيجاد جرعة التأثير البيولوجي الكلية ولإنجاز هذا يجب ضرب جرعة الامتصاص لكل نوع من الإشعاعات بمامل النوعية له (Q) الذي يعكس قابلية هذا الإشعاع لإحداث تلف ويعرف حاصل ضرب جرعة الامتصاص ومعامل النوعية باسم "مكافئ الجرعة" والوحدة التي كانت موضوعة لها أساساً هي الريم (REM) .

مكافئ الجرعة " بالريم" = جرعة الامتصاص "بالراد" × معامل النوعية وبالنظام الدولي مكافئ الجرعة (SV) = جرعة الامتصاص (GY) × معامل النوعية Q×N حيث N معامل محور آخر يأخذ بنظر الاعتبار بعض العوامل الأخرى كمعدل جرعة الامتصاص وقيمة هذا المعامل = ١ وما دام ١ جراي (GY) = ١٠٠ راد (RAD) فهذا يؤدي إلى أن:

١ سيفرت (SV) = ١٠٠ ريم (REM)

ولقد وجد أن قيمة معامل النوعية (Q) تعتمد على كثافة التباين المسبب عن الإشعاع ولقد اتخذ المعامل (Q) قيمة (١) لأشعة جاما والأشعة السينية وجسيمات بيتا أما بالنسبة لجسيمات الفا فإن قيمة (Q) = ٢٠ أما بالنسبة للنيوترونات فإن معامل النوعية Q تعتمد على طاقتها فقيمته (٢,٣) للنيوترونات الحرارية وللسريعة.

ومما هو جدير بالذكر أنه في مجال التعرض المهني تصبح الوحدتان جـــراي وسيفرت كبيرة جداً وغالباً ما يكون ملائماً استخدام وحدات أصغر ولهذا فإن :

١ جراي = ١٠٠٠ ملي جواي = ١٠٠٠,٠٠٠ مايكروجراي (GY)

١ سيفرت = ١٠٠٠ ملي سيفرت = ١,٠٠٠,٠٠٠ مايكروسيفرت (SV)

وبدلالة الوحدات القديمة

١ ملي جراي = ١٠٠ ملي راد

١ ميكرو جراي = ٠,١ ملي راد

وكذلك:

١ سيفرت = ١٠٠ ريم

١ ملي سيفرت = ١٠٠ مللي ريم

١ ما يكروسيفرت = ٠,١ ملي ريم

REFERENCES

1. Study Group of British Royal Society. "Risk Assessment", 1983.
2. International Committee on Radiological Protection (ICRP), Publication 26, 1977.
3. International Committee on Radiological Protection (ICRP), Publication 45, 1984.
4. International Committee on Radiological Protection (ICROP) , Publication 60, 1990.
5. National Academy of Science NAS-Biological Effects of Ionizing Radiation, BEIR- III, 1980.
6. National Academy of Science NAS- Biological Effects of Ionizing Radiation BEIR- V, 1990.
7. National Council on Radiation Protection NCRP, 1980.
8. National Council on Radiation Protection NCRP, 1985.
9. National Council on Radiation Protection NCRP, 1990.
10. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR, 1982.
11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR, 1986.
12. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR, 1988.
13. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR, 1993.

مقالات نووية (٢)

تلوث سلسلة الغذاء بالمواد المشعة وطرق قياسها

إن التزايد المطرد في استخدام المصادر والنظائر المشعة في مختلف الأغراض في حياة الإنسان سواء زراعية – صناعية – عسكرية أو طبية ، قد تزيد من فرص التلوث الإشعاعي وكذلك كمية التعرض للأشعة المؤينة خارجياً وداخلياً وعليه تتزايد الحاجة إلي معرفة طرق تقدير العناصر المشعة وقياس النشاط الإشعاعي في عينات الغذاء الصلبة والسائلة ومياة الشرب . كذلك تزايد إستخدامات التكنولوجيا النووية (سلمياً وعسكرياً) يؤدى بالطبع إلى زيادة احتمالات وقوع الحوادث النووية و التي تؤدى إلى كوارث تلوث إشعاعي لا يعترف بالحدود الجغرافية و إنما يشمل العديد من البلاد على مستوى الكون ولعل أبلغ مثال ما حدث في مفاعل تشرنوبيل في ابريل ١٩٨٦ فلقد دفع هذا الانفجار بكميات ضخمة من النواتج المشعة إلى الجو في صورة سحابة هائلة من الغاز والغبار المشع حملتها الرياح في دورة شملت الكثير من الدول الأوروبية حيث وصلت آثار الإشعاع إلي فنلندا والسويد بعد يومين من الحادث ثم وصلت لألمانيا وفرنسا وبريطانيا في ١٩٨٦/٤/٢٩ ثم استدارت السحابة مع الرياح حيث وصلت إلي ايطاليا ثم شمال البحر الأبيض المتوسط خاصة تركيا وقد تم التعرف علي كثير من النظائر المشعة والتي كونت هذه السحابة وشملت الاسترانشيوم ٩٠، و الروثنيوم ١٠٣،واليود ١٣١، التليريوم ١٣٢، السيزيوم ١٣٤و١٣٧ ، الباريوم ١٤٠ . وقد تسببت السحابة المشعة في تلوث المزارع ومختلف المحاصيل وتبعها تلوث الألبان ولحوم الحيوانات التي تغذت علي غذاء ملوث إشعاعياً . ومما يؤسف له أن بعض الدول الأوروبية قامت بالتخلص من بعض الأغذية الملوثة إشعاعيا بإرسالها للدول الفقيرة في العالم الثالث وهو عمل لا يتسم بالأمانة ولا بالإنسانية . ولقد كان وهذا الحادث كان له وقع سيئ في كل أنحاء العالم فقد أدي الانفجار إلي وفاة ٣٢ألف شخص في الحال وتم تهجير ١٣,٥٠٠ من سكان المنطقة وتعرضت أعداد كبيرة من الأفراد لجرعات مختلفة من الإشعاع خاصة في الاتحاد السوفيتي السابق والدول المجاورة له ، كذلك فان نحو مليوني هكتار من الأراضي الزراعية في أوكرانيا وبيلاروسيا قد أصبحت ملوثة بالإشعاع نتيجة تساقط المواد المشعة

مع الأمطار . ولذلك اهتمت الدول بالرقابة البيئية علي الواردات للتأكد مـن عـدم تلوثها إشعاعيا وللتأكد من خلوها من النشاط الإشعاعي ووضعت المعـايير التـي تحكم كمية الملوثات الإشعاعية الطبيعية التي لابد وأن تصاحب بعـض الأغذيـة بحيث ألا تكون الجرعة الإشعاعية المتكاملة والتي يتعرض لهـا الـسكان تتعـدي المستوي الآمن المتفق علية دولياً(طبقاً للوكالة الدولية للطاقة الذريـة و منظمـة الصحة العالمية و الفاو). ودون أن يعوق هذا الحد حركة الأغذية وتجارة الغذاء بين دول العالم ، وعموماً فقد تم وضع هذا الحد بناءاً علي دراسات وبحوث علمية فمثلاً يجب ألا يزيد النشاط الإشعاعي للألبان عن ٣٧٠ بيكريـل Becquerel / كجم ألبان ومنتجاته ويجب ألا يزيد النشاط الإشعاعي لأي نـوع مـن الأطعمـة الأخري عن ٦٠٠ بيكريل/ كجم (البيكريل يساوي تفكك إشعاعي واحد في الثانية الواحدة) . ويجب أن نعلم أن تلوث الأغذية بالمواد المشعة يمكن أن يحدث نتيجـة لمصادر بيئية طبيعية مثل محتوي التربة أو الماء الجوفي مـن البوتاسـيوم ٤٠ ، والثوريوم ٢٣٢، و اليورانيوم ٢٣٨.

ويوضح جدول (١) كمثال، ما تم رصده من نظائر مشعة انطلقت نتيجـة لكارثـة مفاعل تشرنوبيل عام ١٩٨٦.كما يوضح جدول (٢) تركيزات بعـض العناصـر المشعة الطبيعية في التربة.

ويدخل عنصر البوتاسيوم ضمن المكونات الطبيعية للغذاء ويحتوي عنصر البوتاسيوم طبيعياً علي ٠,٠١١٩% مـن وزن النظيـر المـشع للبوتاسـيوم ٤٠ ويحتوي الجسم البشري (الوزن العياري ٧٠ كجم) علي حوالي ١٤٠ جـم مـن البوتاسيوم والتي تحتوي بدورها علي حوالي ٠,١ ميكروكوري من البوتاسيوم ٤٠ . وتوجد بعض أنواع من الصخور التي تحتوي علي تركيزات عاليـة مـن المواد المشعة مثل صخور الفوسفات (فلوريدا) حيث يصل تركيز اليورانيوم إلي ٢٧٠ بيكوكوري /جم وعليه فإن سماد الفوسفات المستخلص من تلـك الـصخور يحتوي علي نسبة عالية من اليورانيوم وبإضافة هذا السماد إلي الأرض الزراعية يتم انتقال جزء بالغسيل مع مياة الصرف إلي الأنهار والمجاري المائية أو خزانات المياه الجوفية كما يتم امتصاص جزء بواسطة النباتات النامية وبالتالي يتداخل فـي

سلسلة الغذاء ويرفع من نسب تواجد اليورانيوم في الأغذيـــة أو ميـــاة الـــشرب و البيتش بلند أو الرمال السوداء هي أحد الخامات الأساسية لليورانيـــوم ويحتـــوي علي أكسيد اليورانيوم الأسود U_3O_8 .

جدول (١) : النظائر المشعة التي انطلقت بعد كارثة تشرنوبيل عام ١٩٨٦ :

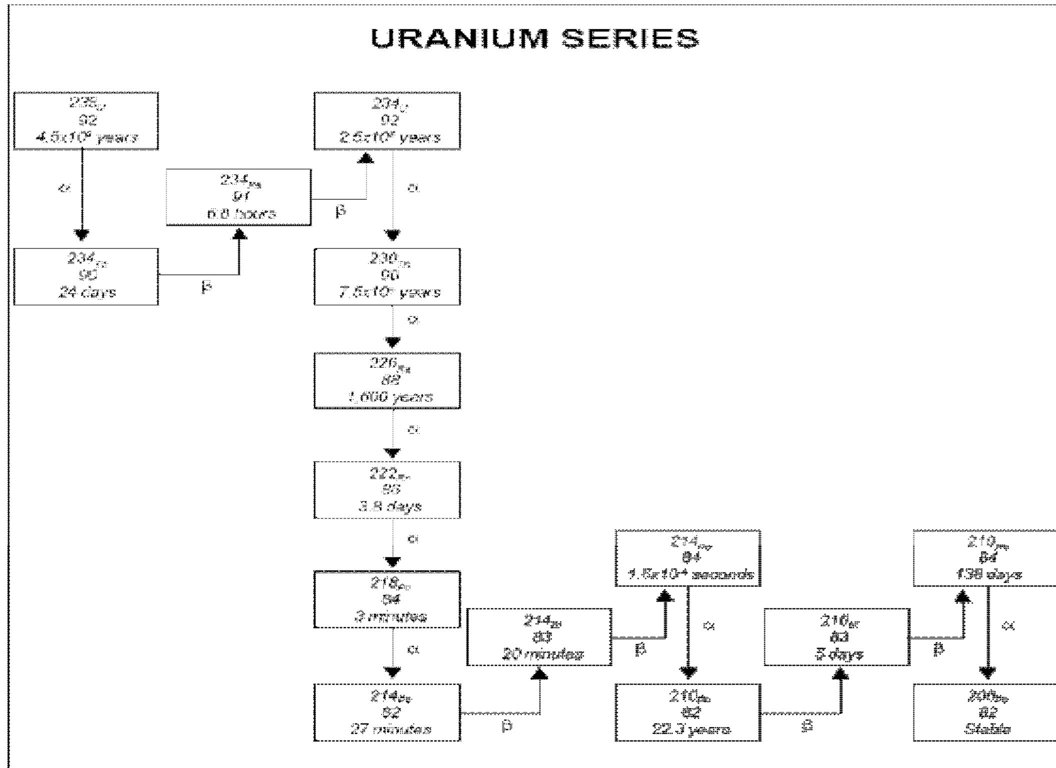
Nuclide	Halflife	Major Decay
H-3	12.35 a	$\beta-$
Sr-89	50.50 d	$\beta-$
Sr-90	28.70 d	β^-
Zr-90	64.09 d	$\beta^-\gamma$
Nb-95	35.00 d	$\beta^-\gamma$
Mo-99	2.75 d	$\beta^-\gamma$
Ru-103	39.30 d	$\beta^-\gamma$
Ru-106	372.60 d	$\beta^-\gamma$
Ag-110m	249.79 d	$\beta^-\gamma$
Cd-115	2.20 d	$\beta^-\gamma$
Sb-125	1008.10 d	$\beta^-\gamma$
Sb-127	3.90 d	$\beta^-\gamma$
To-129	33.60 d	$\beta^-\gamma$
To-131m	30.00 d	$\beta^-\gamma$
Te-132	3.20 d	$\beta^-\gamma$
I-131	8.021 d	$\beta^-\gamma$
I-133	20.30 d	$\beta^-\gamma$
Cs-134	754.20 d	$\beta^-\gamma$
Cs-136	13.00 d	$\beta^-\gamma$
Cs-137	30.00 d	$\beta^-\gamma$
Ba-140	12.75 d	$\beta^-\gamma$
Ce-141	32.50 d	$\beta^-\gamma$
Ce-144	284.45 d	$\beta^-\gamma$
Np-239	2.355 d	$\beta^-\gamma$
Am-241	432.0 a	$\alpha\ \gamma$
Cm242	162.94 d	α
Pu-238	87.70 a	α
Pu-239	$2.411x10^4$	α
Pu-240	$6.56x10^3$ a	α
Pu-241	14.35 a	β^-
Pi-242	$3.735x10^5$	$\alpha\gamma$

Half-life is given in minutes (min), hours (h), days (d), and years(a)

جدول (٢)   مدي تواجد بعض العناصر المشعة في التربة :

العنصر	التركيز (بيكوكوري/جم)
بوتاسيوم ٤٠	٢,٢٥-٣٠
ثوريوم ٢٣٢	٠,١٤- ٢
يورانيوم ٢٣٨	٠,٤ - ٣

وقد لاحظ كلا من ماري كوري وبيير كوري أن شـدة الإشـعاع تختلـف حسب نوع مصدر الخام فمثلا الخام الناتج من منجم جوشيمستال كان أقوي أربـع مرات من خام كورنوول واستـنتجوا أن هذه الخامات تحتوي علي مصدر أكثـر فعالية ، وقد أدي ذلك إلي اكتشاف البولونيوم ثم الراديوم و الـذي تـم تحـضيره واستخلاص كبريتاته ثم فصلها عن الباريوم باستخدام الفصل التجزيئـي للكلوريـد وهذا أنتج ٠,٣جم راديوم من كل طن رمال سوداء ، ومعلوم أن الراديـوم يزيـد نشاطه عن اليورانيوم مليون مرة . ويبين الرسم المرفق سلسلة الانحلال النـووي لليورانيوم حتى يستقر في صورة الرصاص ، وتختلف درجة الانحـلال وفتـرات نصف العمر من نظير لأخر حيث تستغرق السلسلة ألاف السنين .



ومن الأسباب الرئيسية لتلوث البيئة بـــالمواد المـــشعة إجـــراء التفجيـــرات النووية والحوادث الإشعاعية والتي تؤدي في النهاية إلي تعرض الإنسان لجرعـــة خارجية أو داخلية حتى وإن كانت ضعيفة إلا أن العدد الكبير من الأفـــراد الـــذين يتعرضون لهذه الجرعة يؤدي إلي جرعة مجمعـــة عاليـــة ذات مـــردود صـــحي محسوس . ويتسبب الانفجار النووي الذي تصل قوته إلي واحد ميجا طن في إنتاج قدر كبير من الغبار الذري الحامل بين طياته الكربون ١٤ ، و الاسترانشيوم ٩٠، والسيزيوم ١٣٤و١٣٧ ، البلوتونيوم ٢٣٩ وهي نظائر مـــشعة يـــستمر نـــشاطها الإشعاعي مده طويلة (بالإضافة لليود١٣١ القصير العمر) . وتتساقط هذه النظائر علي سطح التربة وتتسبب في تلوث الهواء و الماء و الغـــذاء وتـــدخل فـــي دورة الغذاء فتنتقل إلي الحشرات و الطيور و الحيوانات ثم في النهاية إلي الإنسان .

وتعتبر سلسلة الغذاء من أهم المسارات الحرجة والهامة في سرعة انتقـــال الملوثات الإشعاعية من مكونات البيئة للإنسان ويتوقف تأثيرهـــا علـــي العوامـــل الآتيه:

١- الخواص الكيميائية و الهيدروفزيقية و البيولوجية للتربة بالمنطقة .

٢- الخواص الكيميائية للملوثات الأكثر انتشاراً من الملوثات .

٣- مستوي التلوث الإشعاعي .

٤- العلاقات المتبادلة بين مكونات البيئة بالمنطقة (أرض- ماء- هواء-...الخ)

٥- مكونات السلسلة الغذائية بالمنطقة والعادات الغذائية للسكان .

ويبين الجدول (٣) دور العادات الغذائية علي مدي التعرض الإشعاعي في انجلترا

جدول (٣) تأثير العادات الغذائية علي مدي التلوث الإشعاعي للإنسان :

المنطقة بانجلترا	عدد الأشخاص	نوع الغذاء	التلوث بالنظير المشع	كمية الغذاء جم/يوم/شخص	المستوي الإشعاعي بيكوكوري*/جم غذاء
وندسكيل	١٠٠	أعشاب بحرية	روتينيوم ١٠٦	٨٠	٣٠٠
برادويل	٥٠	قواقع بحرية	زنك ٦٥	٧٥	٢٩٠٠
هنكلي	١٠٠	أسماك وجمبري	سيزيوم ١٣٧	٩٠	٤٩٠

***بيكوكوري = ٠,٠٣٧ بيكريل**

وهناك العديد من الدراسات عن سلوك بعض النظائر المشعة الأكثر خطورة علي الإنسان والتي يحتمل وجودها ضمن ملوثات البيئة المحيطة منها علي سبيل الخصوص بعض النويات الحرجة مثل الإسترانشيوم ٩٠ ، السيزيوم ١٣٧ ، و السيريوم ١٤٤ ومن العناصر المتطايرة والمؤثرة علي صحة الإنسان اليود ١٣١ و الروثينيوم ١٠٦ ، وتتحدد دورة انتقالها إلي الإنسان طبقاً لخواص كلا منها علي الوجة التالي:

الاسترانشيوم ٩٠

يشكل الاسترانشيوم ٩٠ خطراً نظراً لطول فترة نصف العمر (٢٨ سنة) كذلك لإرتباطه الوثيق مع الكالسيوم والذي يؤدي إلي تراكمة في العظام كما يشكل غباره خطراً علي الرئة . وكما شاهدنا في حادثة الاورال وذلك في عام ١٩٥٨ تواجد الاسترانشيوم بمستوي ٣٤ كوري/هكتار وانتشر خلال سلسلة الغذاء وكذلك الحيوانات الثديية الصغيرة . ويوضح الشكل(١) انتقال الاسترانشيوم عبر سلسلة الغذاء ، ويشكل الاسترانشيوم خطراً علي الأطفال حيث يصل تركيزه في

أجسامهم من ١٠-١٥ مرة أكثر من البالغين مما يجعل ضرر هذا العنصر يتركــز علي الأجيال القادمة ، و يتم انتقال الاسترانشيوم مع زيادة تركيزه مع كل مرحلة من مراحل هذه السلسلة لدرجة أن تركيزه وصل في أجسام السكان الشماليين الذين يتغذون علي لحوم الإبل إلي ٤٠ مرة أكثر منه لدي السكان الجنــوبيين الــذين لا يتغذون علي لحوم الإبل .

السيزيوم ١٣٧

يتشابه السيزيوم مع البوتاسيوم في خواصه الكيميائية حيث يدخل الأنــسجة مشكلاً خطورة علي العضلات ، وقد تسرب السيزيوم في حادثة مفاعل الطاقة فــي ويندسكال حيث بلغ أقصاه عند مستوي $١,٢ X ١٠^{٤}$كوري/شهر فــي عــام ١٩٧٥ وأوضحت البحوث أن ذلك أدي إلي ارتفاع نسبة السيزيوم ١٣٧ في الأسماك التي تم صيدها بالأماكن القريبة حيث وصلت ١٠بيكوكوري /جم بالمقارنة بالمــستوي العادي في أسماك بحر الشمال حوالي ٠,١ بيكوكوري /جم .

اليود ١٣١

كما حدث في كارثة ويندسكال عام ١٩٧٥ حيث تلوثت أعــشاب المراعــي باليود المشع مما أدي إلي تركزه في ألبان الماشية التي ترعــي عليهــا وبالتــالي انتقلت للإنسان و يتحد مع المركبات في الغدة الدرقية .

الروثينيوم ١٠٦

أثبتت الدراسات أن متوسط تركيــزه فــي الأعــشاب البريــة يبلــغ ٢٠٠ بيكوكوري /جم ويرتفع هذا التركيز إلي ٢٠٠ ضعف في الأعشاب البحرية .

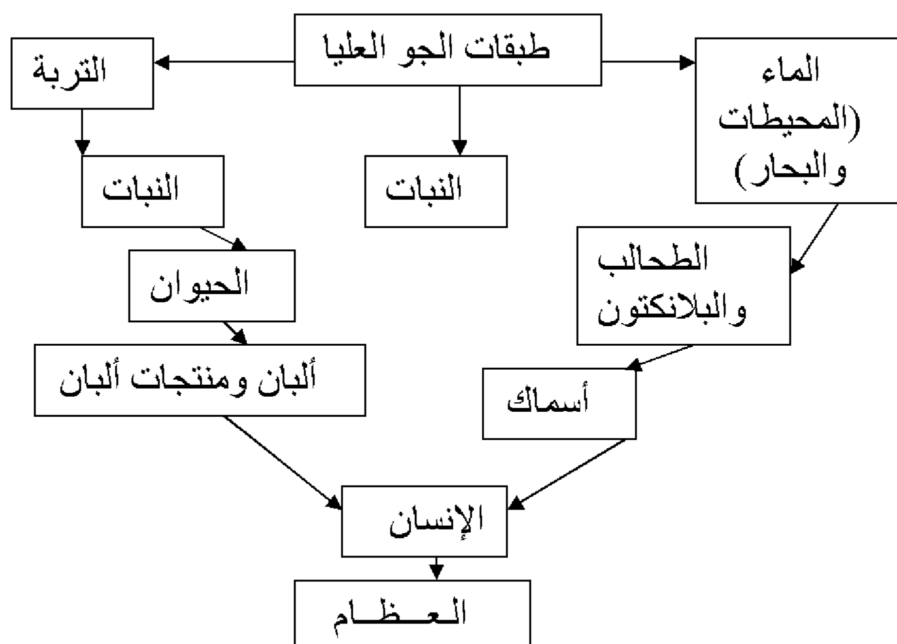
البلوتونيوم

لا يدخل عنصر البلوتونيوم ضمن السلسلة الغذائية حيث إنه أحد العناصــر المصنعة من المفاعلات الانشطارية . وتناول الصور الذائبة مــن هــذا العنــصر يشكل خطورة كبيرة علي العظام والكبد أما الصور غير الذائبة والتي قد تستنــشق مع هواء الشهيق فإنها تسبب سرطان الرئة .

وعندما تتساقط النويدات المشعة أو الغبار الذري علي سطح النباتات المنزرعة سواء بالترسيب أو سقوط الأمطار وعندما يتغذى الإنسان عليها (في حالة الخضراوات والفاكهة الملوثة) فإنها قد تشكل خطراً بسيطاً نظراً لسهولة إزالة التلوث إلا في حالة اليود إذا استهلك فور تساقطه علي النبات ، ويتوقف مدي امتصاص النبات لمثل هذه المواد المشعة علي الخواص الطبيعية والكيميائية و التفاعلات المتبادلة بين التربة و النويدات المشعة المختلفة . ويبين الجدول المرفق تركيز بعض النظائر المشعة في بعض أنواع الأطعمة.

جدول (٤) تركيز بعض النظائر المشعة في بعض أنواع الطعام بيكوكوري/كجم

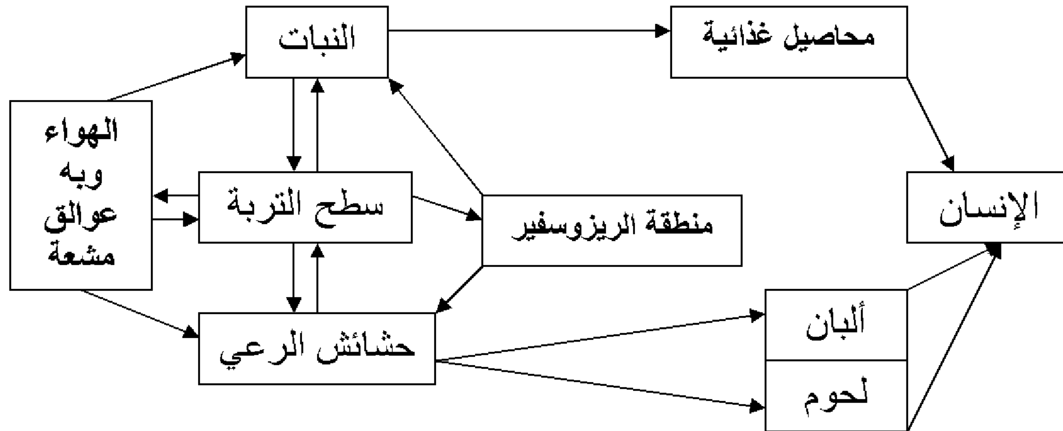
	الاسترنشيوم٩٠	الراديوم٢٢٠	البولونيوم٢١٠	السيزيوم١٣٧
البقول	١٥-٦٠	١,٥-٤	١-٤	٥٠
المكسرات	٣-١٢٠	٠,٥-٢٠٠٠٠	---	---
اللحم	١-٣	٠,٣-٠,٩	٣-٣٠٠	١٠٠-٥٠٠
الماء	---	٢-٣	---	---



الشكل(٢): انتقال الاسترانشيوم عبر سلسلة الغذاء .

إن هذه النويدات المشعة غالباً ما تسلك مسارات معقدة في البيئة- كما في الرسم المرفق (٢)- قبل وصولها للإنسان فعلي سبيل المثال تقوم الأشنة بتركيز

الرصاص ٢١٠ و البولونيوم ٢١٠ وتقوم حيوانات الإبل بالتغذية عليه فيتركز في لحومها ولذلك عندما يتناول الآلاف من الأفراد في شمال الكرة الأرضية لحوم هذه الحيوانات فإنهم يتناولون جرعات البولونيوم ٢١٠ تزيد ٣٥ ضعفاً عن المستويات العادية .



شكل (٣) المسالك التي تسلكها المواد المشعة في البيئة حتى تصل للإنسان .

أما في حالة تساقط النويدات المشعة علي أعشاب المراعي أو المسطحات المائية فإن التلوث الإشعاعي يكون أكثر تأثيراً من خلال مسارات الألبان ومنتجاتها والأسماك والمنتجات البحرية وكما هو معلوم فإن تركيز الملوث الإشعاعي يزداد داخل الكائنات الحية بما يسمي التراكم الحيوي .

ويتمثل معامل الانتقال النسبة المئوية لانتقال المواد المشعة إلي الألبان في كل لتر من اللبن المنتج مثلا مجمل المستوي الإشعاعي لما يتناوله الحيوان من ضمن المواد الغذائية يومياً ومن البحوث يمكن إجمال حدود معامل الانتقال لمختلف النويدات المشعة كما يلي:

اليود ١٣١	٠,١٢-٢,٤%
استرانشيوم ٩٠	٠,٥-٠,٢٢%
سيزيوم ١٣٧	٠,٢٥-١,٢%

وتزداد قيمة معامل الانتقال في منتجات الألبان الملوثة إشعاعيا نتيجة لتركيزه فيصل إلي ٢,٧% لليود١٣١ في اللبن منزوع الدسم والزبد و الجبن

والقشدة ، في حين أن معامل انتقال الاسترانشيوم ٩٠ بلغ حوالي ٠,٧% لكل جرام من الزبد ، ٦,٨% للجبن الحلوب ، ٠,٣٤ للجبن الشيدر ، وتزداد قيم معامل الانتقال في حالة السيزيوم ١٣٧ لتصل إلي ٠,١٠٤% لكل جرام من الزبد ، ٦,٠٢% للجبن الحلوب ، ١,٤% للجبن الشيدر ، وكلما زادت قيم معامل الانتقال كلما زادت الخطورة علي الإنسان والبيئة .

ولسوء الحظ تتراكم العناصر المشعة في الحيوانات البحرية والطحالب خاصة التي تعيش بالقرب من القاع وهي من أهم مصادر الغذاء الآدمي ويزداد التراكم في الطحالب > القشريات والمحارات > الأسماك الكبيرة > الأسماك الصغيرة .

وتم تحديد معامل التراكم الحيوي والذي يمثل معدل تركيز العنصر أو نظيرة في الأحياء المائية بالنسبة لتركيزه في الوسط المائي ويمكن القول – بصفه عامه– أن معظم العناصر تتركز في العديد من الأسماك التي تعيش في المياه العذبة عنها في المياه المالحة بخلاف عناصر الحديد والكالسيوم و التليريوم واليود التي ثبت تركيزها في الأسماك الأكثر تواجد في المياه المالحة وبالطبع يتوقف معدل تركيز المواد المشعة في الأسماك و المنتجات البحرية علي مستوي التلوث الإشعاعي والكيميائي للمصادر المائية ونوع وطبيعة تغذية الأسماك .

ومن بيانات حادثة تشرنوبيل بخصوص تلوث الأغذية فقد تراوح تلوث الأغذية تراوحاً كبيراً حيث أنه لم يعتمد علي الظروف الجوية فحسب مثل المناطق التي هطلت عليها الأمطار عند مرور السحابة القادمة من تشرنوبيل فحسب وإنما اعتمد علي الموسم الزراعي وعلي الممارسات الزراعية في المنطقة ذاتها فعلي سبيل المثال أمكن الحفاظ علي مستويات اليود ١٣١ عند حدود منخفضة في الألبان في السويد حيث وقعت الحادثة قبل خروج الأبقار للرعي في الربيع فقد أبقيت الأبقار في الحظائر لعدة أيام حتى يتفكك اليود ١٣١ المشع وبذلك أمكن المحافظة علي جرعات أكثر انخفاضاً من الجرعات في الدول الاخري التي سمحت لأبقارها بالرعي في الحقول الملوثة .

ويوضح الجدول التالي معامل التراكم الحيوي لبعض العناصر المشعة فـــي بعض الكائنات البحرية كما يلي:

جدول(٥) : معامل التراكم الحيوي لبعض العناصر المشعة في مختلف الكائنات البحرية

	مـاء عـذب				مـاء مـالح			
العنصر	أسماك	قشريات	Mollusus	طحالب	أسماك	قشريات	Mollusus	طحالب
الاسترانشيوم	٣٠	١٠٠	١٠٠	٥٠٠	١	١	١	٢٠
اليود	١٥	٥	٥	٤٠	٢٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠٠٠
السيزيوم	٢٠٠٠	١٠٠	١٠٠	٥٠٠	٣٠	٥٠	١٠	١٠
اليورانيوم	٢	٦٠	٦٠	٠,٥	١٠	١٠	١٠	٦٧
النبتونيوم	١٠	٤٠	٤٠	٣٠٠	١٠	١٠	١٠	٦

وبالمثل التقطت الخضراوات ذات الأوراق كمية أقل من النويدات المشعة في اسكاندينافيا عنها في الأجزاء الجنوبية في أوروبا لان موسم نمو هذه الخضراوات كان متأخراً في اسكنديناقيا عنه في جنوب أوروبا وقد احتوت ألبان الأغنام والماعز في اليونان علي مستويات عالية من اليود ١٣١ بالمقارنة بمستوياته في ألبان الأبقار وذلك بسبب اختلاف عمليات التمثيل الغذائي وعادات التغذية بينها . وبعد تفكك اليود١٣١ قصير عمر النصف أصبحت نويدات السيزيوم ١٣٤ و١٣٧ هي السائدة و المسؤلتان عن أكثر من نصف جرعة العام الأول من الأغذية الملوثة في معظم الدول ، فقد احتوت بعض الأغذية مستويات عالية من التلوث بما في ذلك فطر عيش الغراب في ألمانيا وأسماك المياه العذبة في السويد ولحوم الرنة في اسكاندينافيا . أسهمت الأغذية الملوثة الإسهام الأعظم في تلازم الجرعة الفعالة خلال العام و زادت نسبة الإسهام كلما اتجهنا نحو الجنوب فقد تراوح إسهامها بين ٨٦% في اسكنديناقيا وحتى ٩٦% في الدول الجنوبية مثل اليونان وذلك بالمقارنة بنسب إسهام الإشعاعات الخارجية لهما والتي كانت عبارة عن ٢٧% لاسكندنيافيا و ١١% لليونان علي الترتيب .

ولقد وضعت المؤسسات الدولية المختصة العديد من الفروض لحساب الحد الأعلى لتلوث الأغذية بالمواد المشعة المسموح به للاستمرار في نشاط التبادل التجاري للأغذية في الأسواق العالمية . فعلي سبيل المثال قدرت المواد الملوثة في حادثة تشرنوبيل واعتبر أن أهمها هي السيزيوم ١٣٧ و السيزيوم ١٣٤ وأن نسبة الأول للثاني هي الضعف اعتماداً علي القياسات التي أجريت لعينات متعددة بعد الحادثة علي أن تصحح هذه النسبة سنوياً بعد الأخذ في الاعتبار زمن عمر النصف لكل من النظيرين وقد أهمل التلوث الناتج من نظير اليود ١٣١ حيث أن زمن عمر النصف له لا يتعدى ٨ أيام وان ٩٠% من الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها الإنسان تنتج عن نظيري السيزيوم .

ولقد ظهرت الحاجة إلي وضع ضوابط لكمية التلوث الإشعاعية في الأغذية بعد حادث تشرنوبيل حيث وصلت إلي مستويات عالية غير مسموح بها دولياً لمنتجات زراعية (نباتية – حيوانية) لبعض المناطق . ولقد وضعت حدود لتركيز الملوثات المشعة والتي يجب عندها أن تتدخل الدولة بالمنع وتوضع هذه الحدود بناءاً علي قيمة الجرعات الإشعاعية المسموح بها دولياً وعلي سبيل المثال فقد وضعت الوكالة الدولية للطاقة الذرية حدود للتعرضات بعد الحادث لكي تبلغ قيمة ٥ مللي سيفرت لعموم الجسم و٥٠ مللي سيفرت للغده الدرقية خلال العام الأول بعد الحادث وتنخفض القيم خمسة مرات الأعوام التالية.

كشف وقياس الإشعاع :

يعتمد الكشف عن الإشعاعات علي حدوث ظاهرة التأين أو إثارة ذرات أو جزيئات مادة الكاشف عند سقوط الإشعاعات عليها . فمثلا عند سقوط جسيمات ألفا أو بيتا علي المادة يتكون من عدد من الأزواج الأيونية أو موجات كهرومغناطيسية في المادة ويتناسب عدد هذه الأزواج الأيونية مع طاقة الجسيمات الساقطة علي مادة الكاشف حيث تزيد بزيادتها وتقل بنقصانها أو انخفاضها ، وعند تجمع الالكترونات أو الايونات الناتجة عن التأيين و قياس الشحنة الكهربائية

الناتجة عن هذه الأزواج (أو التيار الكهربائي الناتج) يمكن معرفة عدد الجسيمات الساقطة و طاقتها .

ويستخدم أنواع متعددة من الكاشف تتوقف علي نوع الإشعاع الساقط (ألفا- بيتا- جاما) ، شدة الإشعاع ، طاقة الإشعاع ، وشكل المصدر المشع نفسه ، والتي يمكن تلخيص أنواعها في الآتي :

١- تأين في الغازان الموجودة في أجهزة GM tube .

٢- تأين أو تهيج في مادة الكاشف (الصلبة والسائلة) .

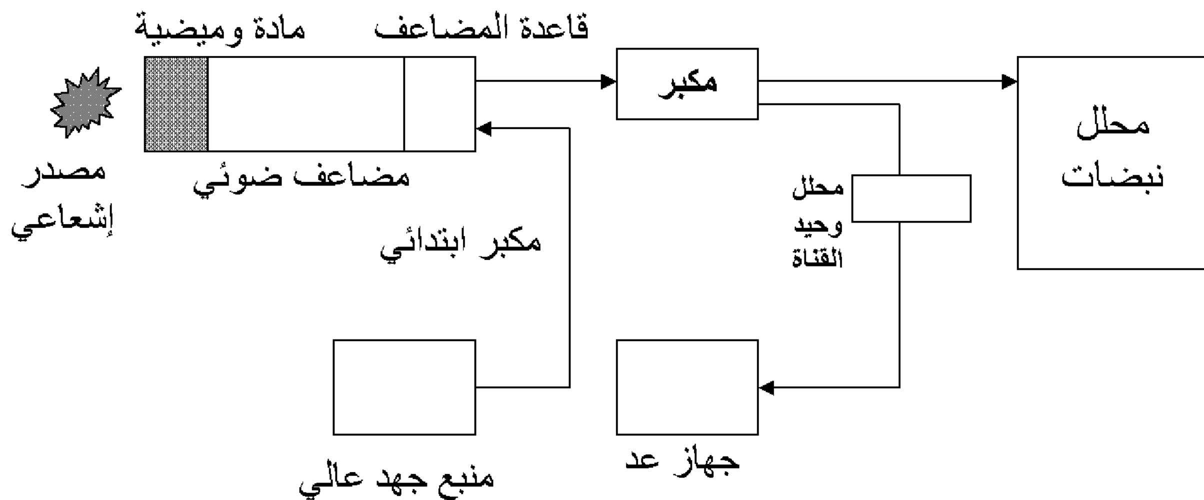
٣- كواشف الجرمانيوم والجهاز المتعدد القنوات .

ومن المعروف أن أبسط طرق الكشف عن الإشعاع الجامي هو الكواشف الوميضية وتمتاز هذه الكواشف بكفاءتها العالية بالنسبة لكواشف أخري مثل الكواشف الغازية حيث تستجيب المواد الوميضية للإشعاع المؤين الساقط عليها عبر تفاعلها مع الجسيمات المشحونة الناتجة ويتحول جزء صغير من الطاقة الحركية للجسيمات المشحونة إلي طاقة ضوئية ويتبدد الجزء المتبقي من طاقة الجسيمات علي شكل اهتزازات للنسق البللوري للمادة أو في صورة حرارة .

وتعتمد الاستجابة الوميضية لمادة البلورة علي نوع الجسيم الساقط و نوع المادة الوميضية ذاتها وتكون الاستجابة مثالية (ارتفاع النبضة يتناسب مع الطاقة) إذا كانت العلاقة خطية بين حجم النبضة ومستوي الإشعاع الناتج . وتعتبر المواد الوميضية غير العضوية أفضل من حيث الاستجابة الخطية وهي الأكثر ملاءمة للكشف عن الإشعاع الجامي خصوصاً بلورة يوديد الصوديوم المنشط بالثاليوم ويرجع ذلك إلي كبر كثافتها وكبر عددها الذري مما يزيد كفاءة الكشف وتصل كفاءة الكواشف الوميضية بالنسبة لأشعة جاما إلي ١٠٠ مرة أكبر من عدادات جيجر- موللر وتعتمد هذه الكفاءة علي طاقة فوتون جاما الساقط وكذا علي أبعاد البلورة الوميضية .

الكواشف الوميضية الصلبة :

عند سقوط الإشعاعات المؤينة كالجسيمات المشحونة (ألفا) والالكترونات (بيتا) وإشعاعات جاما علي بعض المواد التي تثار ذراتها ثم تعود الذرات المثارة إلي حالتها المستقرة وتعرف مثل هذه المواد بالمواد الوميضيةSintillators كما في الشكل المرفق (٣) وللكشف عن الإشعاعات المؤينة باستخدام المواد الوميضية يتم اختيار المواد الوميضية السريعة (أي ينطلق وميضها خلال زمن لا يتجاوز ميكروثانية واحدة من لحظة الإثارة) ، وتستخدم مادة ايوديد الصوديوم المنشطة بعنصر الثاليوم NaI (Ti) في شكل متبلور كمادة وميضية للكشف عن إشعاعات جاما ، أما بالنسبة للجسيمات ألفا فتستخدم طبقة رقيقة من كبريتيد الخارصين ، أما بالنسبة للكشف عن النيترونات باستخدام الكواشف الوميضية فتستخدم بلورة تحتوي علي خليط من كبريتيد الخارصين و البارافين (لاحتوائه علي نسبة عالية من الهيدروجين) وعند اصطدام النيترون بالهيدروجين ينطلق البروتون الذي يتم تسجيله في الكاشف .



شكل (٤)

وعند سقوط فوتونات أشعة جاما علي البلورة يتحرر عدد من الالكترونات وهذه الالكترونات سريعة وتحدث تأين لمادة الكاشف وحتى تعود لحالتها المستقرة الثابتة تنبعث ومضات فوتونات تتناسب مع كمية و طاقة فوتونات جاما الساقطة عليها ، و عندما تنبعث هذه الفوتونات من الكاشف تسقط علي الكاثود الضوئي الموجود في أنبوبة المضاعف الضوئي Photo multiplier (الذي يكون متصل بسلسلة من المصاعد dynodes) حيث يتم تكبير ومضاعفة الإلكترونات الضوئية التي تنطلق من سطح dynode فمثلاً واحد إليكترون يدخل المضاعف الضوئي ويخرج منة خمسة إليكترون ويتكون الـــ Photo multiplier من العديد من الـــ dynodes قد تصل إلي ١١ والتي تضاعف الإليكترون الواحد إلي ما يصل إلي (٥٠ مليون إليكترون) . وهذه الالكترونات تخرج علي هيئة نبضات كهربائية Pulses تتناسب مع أشعة جاما الساقطة علي البلورة . ويتم تكبير النبضة خطياً بواسطة Amplifier حيث تصل بعد ذلك إلي محلل حجم أو سعة النبضات Pulse Size Analyzer حيث تخزن النبضات وتصنف تبعاً لحجمها ثم تخزن في جزء خاص بالذاكرة الإلكترونية وبعد زمن معين تجمع القراءة المسجلة في فترة زمنية معينة ، كما بالشكل (٤) .

العدادات الوميضية السائلة :

ويتركب جهاز Liquid Scintillation Counters من :

١- أنبوبتان مضاعف ضوئي . ٢- وحدة تبريد (أنبوبة المضاعف الضوئي- أحياناً لا توجد-). ٣- دائرة تزامن coincidence circuit . ٤- مقياس الحدود العليا والسفلي Upper-and-lower level discriminator . ٥- عداد القياس Scaler وجهاز الـــ liquid scintillation له استخدام واسع في عد جسيمات بيتا ذات الطاقة المنخفضة مثل ^{14}C و ^{3}H . وكذلك جسيمات بيتا ذات الطاقة المرتفعة مثل ^{32}P .

– توضع مع العينة المراد عدها (جسيمات ذات الطاقة المنخفضة) مذيب عضوي من مادة متفلورة حيث تحيط بنويات الذرات المشعة أو الجزيئات بالكامل

و إذا كانت العينة غير ذائبة في المذيب العضوي يمكن وضعها في معلق متماثل Uniform suspension ، وهناك العديد من المواد المتفلورة مثل PPO (2-5 diphenylakazol) مع الـــtoluene أو الـــdioxane كمذيب ، وفكرة الـــliquid scintillator هي أن الجسيمات المتأينة من المواد المشعة تحدث إثارة وتأين لجزيئات المذيب (toluene مثلاً) التي بدورها تنقل الطاقة هذه الإثارة إلي جزيئات (solute) PPO التي تحدث لها فللورة أو تلألؤ Fluoresces or Scintillation (نتيجة لاكتسابها هذه الطاقة وإثارتها ثم عودتها إلي حالتها العادية Ground state حين ينبعث ضوء الفوتونات) عند انبعاث هذه الومضات فإنها تصل إلي أنبوبة المضاعف الضوئي الذي يحرر إليكترون ونتيجة لاتصاله بسلسلة من الـــdynode مكونة من نبضات كهربائية تناسب مع الومضات المضيئة المنبعثة من المادة المتفللورة والتي تتناسب مع شدة الإنبعاثات.

دائرة التزامن Coincidence circuit :

وهي مصممة علي إخراج نبضة واحدة إذا هي تسلمت نبضة واحدة من كل من أنبوبتي المضاعف الضوئي والـــBackground أو النبضات الناتجة من الـــnoises أو الشوشرة الإلكترونية سوف ترفض من دائرة التزامن والكاشف detector وهو جزء من النظام غالباً ما يبرد لكي يقلل من الـــNoises الناشئة عن الحرارة المرتفعة في أنبوبتي المضاعف الضوئي .

وحدة تمييز الحدود العليا :

وهو يسمح بمرور النبضات التي حجمها أو طاقتها اعلي من E ويرفض الأقل ، أما تمييز الحدود السفلي فهو يسمح بمرور النبضات التي حجمها أو طاقتها أقل من E ويرفض الاعلي وتقوم هذه الوحدات بالعمل علي تجانس النبضات طبقاً لأسس معينة ثم تمرر هذه النبضات علي جهاز الـــScaler الذي يحول هذه النبضات إلي عدات يمكن حسابها مع الزمن ، ومن الجدير بالذكر أنه في حالة

جسيمات بيتا ذات الطاقة العالية يتم قياسها بدون استخدام Liquid Scintillator ، ويستخدم أسلوب عد شيرنكوف Cerenkov Counting Technique ، وفيها تذاب العينة المشعة أو المتأينة في الماء ويضع فيها محلول شيرنكوف وهذه الجزيئات المتأينة ترحل خلال الوسط (الماء) بسرعة أكبر من سرعة الضوء محدثة ومضة ضوئية تسمي Cerenkov light .

ومن أهم مساوئ العدادات الوميضية هي قلة مقدرتها علي الفصل بين النويدات المشعة المختلفة في العينة وتسوء هذه المقدرة كلما ازداد حجم بلورة الكاشف والذي يفضل استخدامه كلما ضعف تركيز التلوث في العينة .

الجهاز متعدد القنوات Multi Channel Analyzer :

و يستعاض عن الكاشف الوميضي بكواشف الحالة الصلبة مثل كواشف الجرمانيوم في حالة التلوث بنظائر مشعة مختلفة ويكون المطلوب الحصول علي تركيز كل نظير مشع علي حده ويتميز هذا النوع من الكواشف بأن مقدرته علي الفصل عالية جداً لمختلف النظائر المشعة إلا أن كفاءته النسبية لتسجيل أشعة جاما أقل في حالة الكواشف الوميضية . ويتكون الجهاز من أربع أجزاء :

١- الكاشف Detector ويمثل وسيلة إدخال Inputs .

٢- نظام التحكم الإلكتروني Electronic system .

٣- المحلل Analyzer .

٤- وسيلة العرض و الإخراج Display/out .

أولاً: الكاشف ويتكون من ثلاثة أجزاء كما بالرسم :

أ - وعاء نيتروجين سائل Liquid Nitrogen Dewar .

ب- Cryostat وهو عبارة عن نظام تبريد وتفريغ يحفظ الكاشف (من الجرمانيوم ليثيوم أو الجرمانيوم فائق الحساسية) في درجة حرارة –١٩٨ مئوية) حتى لا يحدث شوشرة Thermal Noises أو فقد و تسرب إليكتروني ويكون في حالة مستقرة Ground State وأسعار هذه الكواشف باهظة وكذلك تكاليف التشغيل وتبلغ أضعاف مثيلتها في حالة الكواشف الوميضية .

ج- صندوق المكبر الابتدائي Preamplifier\Electronic package وبها مكبرات ابتدائية بالإضافة إلي مرشح الضغط العالي Filter High Voltage بالإضافة إلي دائرة حساسة تبين درجة حرارة الـCryostat.

ثانياً : نظام التحكم الالكتروني وفية يتم التحكم بالجهد العالي High Voltage ونظام التحكم في الـWidth الاتساع لفتحة القياس .

ثالثاً : المحلل متعدد القنوات Multi-Channel Analyzer وأهم جزء فيه هو المحول الرقمي المتناظر Analog to Digital converter (ADC) حيث تصل النبضات الخطية إلي الـADC فيقوم بتحويلها إلي أرقام تخزن في ذاكرة الكومبيوتر ذات القنوات المتعددة حيث تكون هذه القنوات معرفة ومرقمة ومرتبة حسب طاقة هذه النبضات .

رابعاً : وحدة العرض Display:

وهي إما طابعة أو كومبيوتر ذو شاشة حيث يمكن رؤية وطباعة رسوم المنحنيات للقمم في القنوات الناتجة كلاً حسب طاقته كما يمكن أيضا طباعة كما وحساب صافي لكل قمة عند طاقة معينة وبالتالي نسبة الـNet area إلي تركيز العنصر بالشكل ٤ .

العوامل المؤثرة علي العد الإشعاعي:

فعندما يحدث انحلال لذرة مشعة تنبعث فوتونات أو جسيمات فعلي سبيل المثال ذرة Co تشع جسيم بيتا أو فوتونين من الجاما وأحياناً واحد من كلٍ منهما ويلزم انبعاث الجسيمات أو الفوتونات حوالي 10^{-10} من الثانية أو أقل بينما الاستجابة اللحظية لأسرع أجهزة العد تأخذ الرقم 10^{-7} من الثانية معني هذا فلن يكون هناك أي أجهزة عملياً بها كفاءة ١٠٠% لذا فإن النسبة بين معدل العد إلي معدل التحلل يعرف بكفاءة جهاز العد :

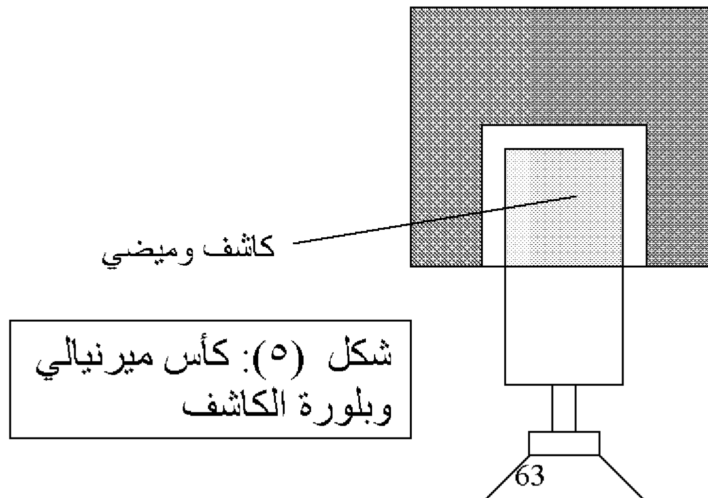
$$E = \frac{\text{Count rate of sample}}{\text{Disintegration rate in sample}} \qquad \frac{Rs\ (CPS)}{{}^{*}A\ (dps)}$$

$$\text{كفاءة العد} = \frac{\text{عد العدات في الثانية}}{\text{عدد الاضمحلالات الفعلية في الثانية}}$$

لذا فانه في معظم الأجهزة كفاءة العد أقل من ١٠٠% أي يمكن القول أن جزءاً فقط من الكمية الكلية المتحللة في العينة هو الذي يتم عده عموماً فإن كفاءة العد في الأجهزة المختلفة أيضاً يؤثر فيها عوامل عديدة مثل :-

١- <u>امتصاص العينة في الوسط الداخلي :-</u>

يحدث أحياناً أثناء قياس عينة ما أن يمتص جزء من الإشعاع داخل العينة نفسها ، وتتناسب الكمية الممتصة داخل العينة تناسباً طردياً مع تركيز الذرات المشعة في العينة مع ثبات جميع الظروف الاخري مثل نوع مادة الامتصاص ووضعها الهندسي حيث أن الزاوية بين مصدر الإشعاع والكاشف مرتبة ومقسمة إلي 4π وعلي ذلك فإنه في حالة المصادر الصغيرة المشعة تكون الزاوية أقل من 2π أي يكون العامل الهندسي هنا بمعدل النصف . كما أن الامتصاص الذاتي يتناسب عكسياً مع حجم العينة لذا فإنه لتقليل الخطأ الناتج عن الــ-Self absorption يجب أن تكون كل القياسات و الأحجام ثابتة من العينات Constant volume مع تقليل الحجم إلي أقل ما يمكن بالتبخير أو الترسيب الكيميائي . وتتضاعف كفاءة العد إذا كانت العينة في وضع هندسي يغطي بلورة الكاشف بالكامل ويمكن الوصول لهذا الوضع باستخدام كأس (ميرينالي) وهو إناء من البلاستيك أو أية مادة ذات معامل امتصاص ضئيل لأشعة جاما هذا الكأس به ارتداد في مركزة يكافئ حجم البلورة بحيث يجلس الكأس علي البلورة و تصبح البلورة في هذه الحالة كأسطوانة محورية متوازية للجدار الخارجي للكأس ويمتلئ الكأس عادة بمادة متجانسة حجمها في حدود اللتر كما بالشكل المرفق (٥) .



شكل (٥): كأس ميرنيالي وبلورة الكاشف

باستخدام حجم معين من العينات المطحونة داخل هذا وقياس نشاطها الاشعاعي يمكن التعرف علي العناصر المشعة الملوثة للعينة وكميتها في حالة استخدام عينات عيارية تحتوي علي نفس النظائر المشعة الموجودة في العينات المراد قياسها ويراعي أن هذه العينات مماثلة لنفس حالة وحجم العينة المراد دراستها .

٢- تأثير الـــBackground أو الخلفية :

لا يمكن قياس النشاط الإشعاعي بدون اعتبار للخلفية أو الـــBackground فعند عدم وضع مادة مشعة بالجهاز نلاحظ أن هناك قراءات تدل علي وجود نشاط إشعاعي نتيجة لمصادر مشعة طبيعية أو صناعية تؤثر علي بل وتتداخل في قراءة الجهاز وهو ما يسمي بالخلفية B.G ويؤدي الـــB.G إلي خطأ في العد ما لم يقدر ويطرح من العدات الكلية حتى يمكن الحصول علي صافي العدات الفعلية Net count وقد يتغير الـــ B.G أثناء العد لذا يجب تقدير الـــB.G في بداية العد ونهايته أو بين عد العينات . ويمكن تقسيم المصادر الإشعاعية التي يتم لبعض الأجهزة قياسها بدون وضع المواد الإشعاعية بها إلي : أ- مصادر طبيعية الإشعاع مثل * الأشعة الكوزمية Cosmic rays .**النظائر المشعة الطبيعية المحيطة مثل المواد الموجودة بالرصاص والكربون الموجود في الخشب أو البوتاسيوم .*** المواد الكيميائية العادية مثل أملاح اليورانيوم – الثوريوم – البوتاسيوم . ب – مصادر صناعية للإشعاع مثل : ساعات اليد حيث تحتوي العلامات المضيئة علي مواد تشع إشعاعات طبيعية ، المواد المشعة المخزنة في حجرات مجاورة ، تلوث أجهزة العد ، التساقط الذري .

وفي حالة التركيزات متناهية الصغر للنظائر المشعة يجب الإقلال من الخلفية الإشعاعية قدر المستطاع لذلك تستعمل الدروع الواقية حول الكاشف الإشعاعي الوميضي وعادة يستخدم عنصر الرصاص في هذه الدروع علي أن يكون نقي وخالي من سلسلة اليورانيوم المشعة فان تكلفة هذه الدروع الواقية تكون عادة عالية .

التغلب علي مشكلة الخلفية :

أ- وسائل صناعية : إحاطة أنبوبة الكاشف بكتل من الرصاص حيث يقلل هذا الخطأ المحتمل بحوالي ١٥%.

ب- وسائل إحصائية حيث يمكن تقليل الخطأ المحتمل بزيادة زمن عد للعينة بالنسبة لزمن عد الخلفية فمثلاً إذا كانت تعطي ٤٠٠ عدة/دقيقة وعدات الـــB.G هي ٤٠عدة/دقيقة أي أن النسبة بينهما تساوي عشرة فان معني ذلك إنه يجب أن يكون زمن عد العينة أكبر ١٠ مرات من زمن الـــB.G .

المراجع:

١- مجموعة محاضرات ألاستاذ الدكتور/أنس النجار في مجابهة الحوادث الإشعاعية- الدورة التدريبية في مجابهة الحوادث الإشعاعية- المركز الاقليمي للنظائر المشعه (١٩٩٢).

٢-الأمان النووي- أستاذ الدكتور/ممدوح فتحي عبد الصبور- مجلة أسيوط للدراسات البيئية-جامعة أسيوط (١٩٩٧).

٣-مصادر التلوث الاشعاعي ومساراتة في البيئة- أستاذ الدكتور/ممدوح فتحي عبد الصبور- ندوة الأشعاع مالة وما علية- مركز الدراسات والبحوث البيئية بجامعة أسيوط (أبريل ١٩٩٩).

٤- تلوث البيئة وصحة الانسان- أستاذ الدكتور/ممدوح فتحي عبد الصبور-مكتبة النهضة المصرية-القاهرة (٢٠٠٠).

مقالات نووية (٣)

اليورانيوم

استخداماته- أثاره الضارة
و سلوكه في البيئـة

يوجد اليورانيوم بكميات مختلفة فى الطبيعة فى الصخور – التربة – الماء – الهـواء. ويأتى ترتيبه من حيث الوفرة الطبيعية رقم ٣٨ بين العناصر ، ويبلغ متوسط تركيزه فى القشرة الأرضية ٤ × ١٠$^{-٤}$ % وزناً ، وغالباً يتركز فى الصخور النارية. وتحتـوى التربة نسبة تتراوح من ١,٢ × ١٠$^{-٥}$ الى ٩,٣ × ١٠$^{-٥}$ %. وأثناء عمليات التجويـة يتحول اليورانيوم الى الصورة الذائبة ولذلك عادة تحتوى مياه الأنهار على حوالى ٥ × ١٠$^{-٦}$ % يورانيوم بينما تبلغ نسبته فى مياه المحيطات ١ × ١٠$^{-٧}$ %. واليورانيـوم معدن ذو لون فضى رمادى وذو صلابة مثل الصلب.

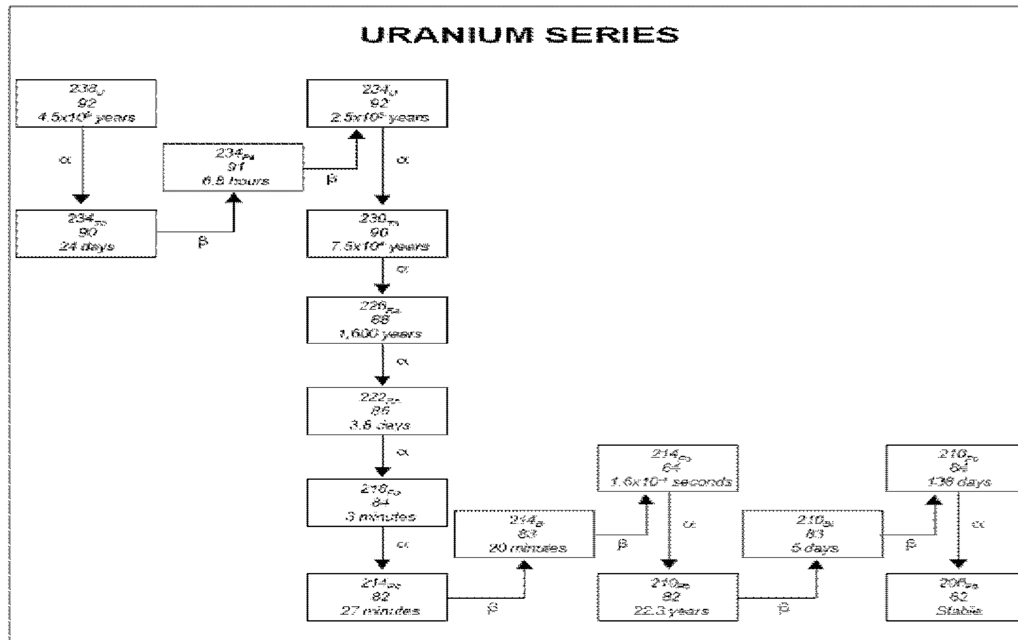
وفى الخامات الأولية ذات الأصول المتحولة يكون اليورانيوم خامات مترسـبة ولهذا يوجد اليورانيوم فى أكثر من ١٠٠ معدن أهمهـا أكاسـيد اليورانيـوم وأمـلاح اليورانيوم مع كل من الفانديوم والأحماض الفوسفاتية والسليكا والأرسنيك والتيتينيـوم. وأهم الخامات على المستوى التجارى خام اليورونيت وخام البتشبلند والكارنوتيت كما فى جدول (١).

وما أن قارب القرن الماضى على الانتصاف حتى بدأت أنظار العلماء تتجه نحو النشاط الإشعاعى لليورانيوم وعملية الانشطار والتفاعل المتسلسل فى اليورانيوم–٢٣٥، وهو واحد من نظائر اليورانيوم الثلاثة المشعة المعروفة فـى ذلـك الوقـت وهـى: اليورانيوم–٢٣٨ ويوجد بتركيز ٩٩,٢٨ % فى اليورانيوم الطبيعى (فترة عمر النصف ٥ بليون سنة). واليورانيوم–٢٣٥ ويوجد بتركيز ٠,٧٢ % من اليورانيـوم الطبيعـى (فترة عمر النصف ٧٠٠ مليون سنة). واليورانيوم–٢٣٤ ويوجد بتركيـز ٠,٠٠٥ % من اليورانيوم الطبيعى (فترة عمر النصف ٢٠٠ ألف سنة). والثلاثة نظائر لهم نفـس الخواص الكيميائية مع اختلاف الخواص الإشعاعية.

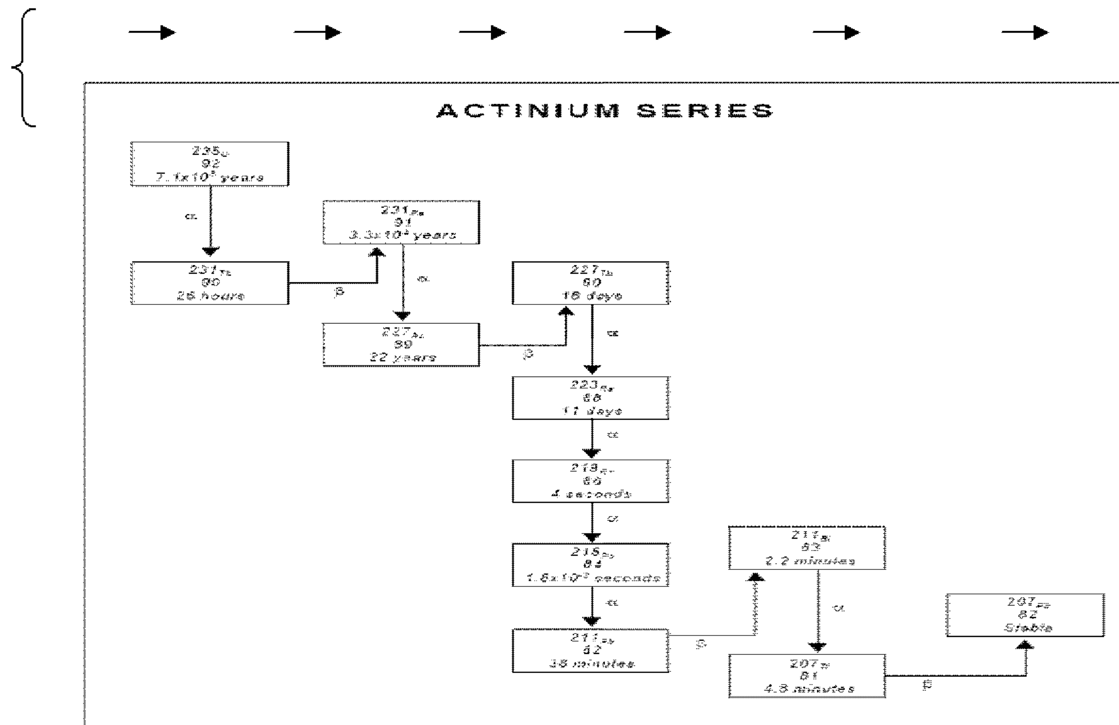
بعض معادن اليورانيوم ونسبة اليورانيوم بها

Mineral	Chemical composition	Percentage of uranium (%)
Uraninite	UO_2	45-85
Pitchblende	$UO_{2.2}$ $UO_{2.67}$ (U_3O_3)	Variable
Carnotite	$K_2 (UO_2)_2 (VO_4)_2 . nH_2O$	55
Autunite	$Ca (UO_2)_2 (PO_4)_2 . nH_2O$	45-55
Tyuyaniunite	$Ca (UO_2)_2 (VO_4)_2 . nH_2O$	50
Samarskite	$(U, Y, Ca, Th, Fe) (Nb, Ta)_2O_5$	8-16
Brannerite	$(U, Y, Ca, Th)_3 Ti_5 O_5$	Ca.40
Davidite	$(U, Fe, Ce) (Ti, Fe, V, Cr)_3 (O, OH)_7$	-
Kasolite	$Pb (UO_2)_2 SO_4 . H_2O$	7-40
Uranophane	$Ca (UO_2) Si_2 O_7 . 6 H_2O$	57
Torbernite	$Cu (UO_2) (PO_4)_2 . nH_2O$	50
Coffinite	$U (SiO_4)$ % $(OH)_4$ %	-
Zeunerite	$Cu (UO_2) (AsO_4)_2 . nH_2O$	50-53
Thucholite	Uranium oxide and hydrocarbons	Variable

ويتميز النظيرين يورانيوم–٢٣٨ ، ٢٣٥ بأن لهما سلسلة انحلال طويلة ينتج منها العديد من العناصر المشعة كما بالرسم التالى:



سلسلة اضمحلال كل من ^{238}U , ^{235}U



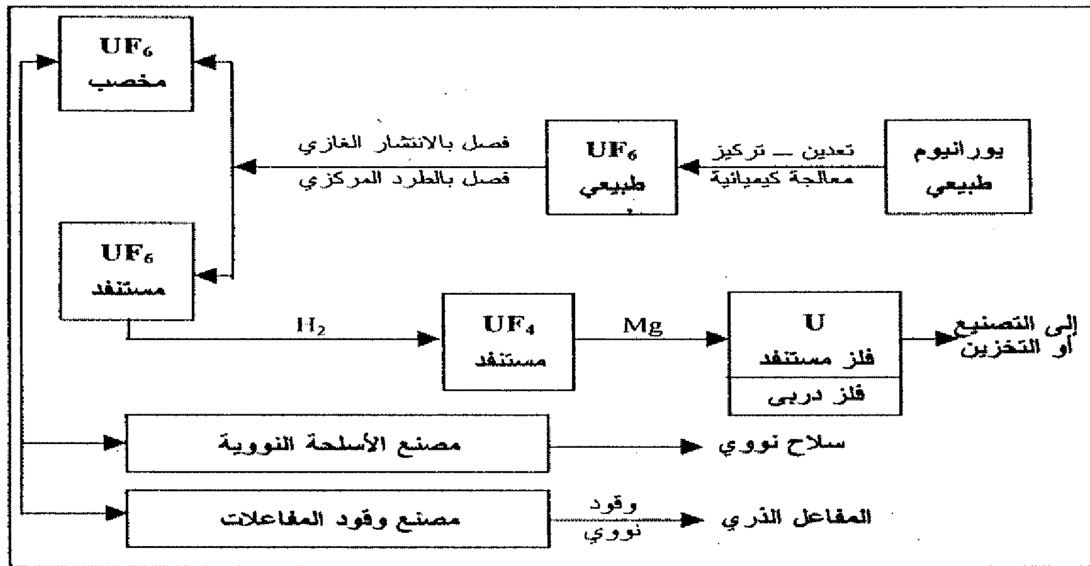
وكما بالرسم تتواجد هذه النويدات الممثلة فى الــ NORM والمتواجدة طبيعياً فى العديد من الخامات المستخدمة فى الصناعات مثل وتجميــد اليورانيــوم – التعــدين – المسابك – صناعة الفوسفات وخاماته – استخراج الفحم والبترول وإنتــاج الطاقــة – استخراج المعادن النادرة – صناعة أكاسيد التيتانيوم والزركونيوم والسيراميك ومــواد البناء وتطبيقات الراديوم والثوريوم المختلفة.

ويتميز اليورانيوم–٢٣٥ بقابليته للإنشطار بحيث تطلق الذرة المنشطرة نتــرونين على الأقل لكل نترون يمتص محدثاً عملية الانشطار بها. وفى مثل هذه الظروف التى يكون فيها عدد النترونات الناتجة أكبر من عدد النترونات الممتصة يمكــن أن يــستمر التفاعل الانشطارى فى كتلة حرجة من اليورانيوم–٢٣٥ على هيئة تفاعل متسلسل تنتج منه كميات كبيرة من الطاقة ونواتج الانشطار الأخرى. ويمكــن أن يكــون التفاعــل الانشطارى محكوماً أى يجرى تحت السيطرة وبمعدل محدد وهو ما يحدث عند تشغيل المفاعلات الذرية، كما يمكن أن يجرى التفاعل الانشطارى بدون سيطرة عليه تنطلــق كميات كبيرة من الطاقة فى زمن متناهى فى القصر وذلك هو التفاعل المتسلسل غيــر المحكوم وهو الذى يستخدم عادة فى الأسلحة النووية المتفجرة.

وحتى يمكن إجراء التفاعل الانشطارى المتسلسل فى اليورانيوم فإنه من الــلازم رفع نسبة اليورانيوم–٢٣٥ (اليورانيوم الانشطارى) فى اليورانيوم الطبيعى إلى أكثــر من ٩٠% (إثراء اليورانيوم) لتحضير ما يطلق عليه يورانيوم مرتفع التخصيب والذى يلزم لإعداد المتفجرات النووية، أو إلى نسبة تتراوح بين ٣–٥% وبحد أقــصى ٢٠% لتحضير ما يطلق عليه اليورانيوم منخفض التخصيب. وتجرى عملية التخصيب عادة باستعمال طريقة الانشطار الغازى أو طريقة الطرد المركزى فــى منــشآت باهظــة التكاليف.

وعند إجراء عملية التخصيب يتكون اليورانيوم المخصب، الذى تزيد فيه نــسبة اليورانيوم–٢٣٥ عن النسبة الموجودة فى اليورانيوم الطبيعى، وتتكون كــذلك كميــات أكبر من اليورانيوم الذى تقل فيه نسبة اليورانيوم–٢٣٥ عن ٠,٧% ويطلق عليه عــادة اسم اليورلنيوم المستنفد أو المنضب. ولن تتجاوز الحقيقة إذا اعتبرنا أن ذلك النوع من اليورانيوم خارج دورة الوقود النوى، وبذلك يصبح فى عداد المواد غير المهمة نووياً.

وقد ظل الأمر كذلك إلى أن أعيد مؤخراً استخدام اليورانيوم المستنفد فى تحضير ما يسمى بوقود الأكاسيد المختلطة للمفاعلات. ويبين الشكل رقم (١) خطوات تحضير اليورانيوم المخصب واليورانيوم المستنفد من اليورانيوم الطبيعى. فبعد معالجة خام اليورانيوم بعمليات التركيز والمعاملة الكيميائية يتكون ما يسمى بالكعكة الصفراء التى تحول بعد ذلك إلى ثانى أكسيد اليورانيوم الذى يعالج فى النهاية لتحويله إلى سادس فلوريد اليورانيوم ، وهى مادة متطايرة تتحول الى الحالة الغازية بسهولة وتستخدم أساساً فى عمليات التخصيب، حيث ينتج بعد دورة تخصيب كاملة كميات من اليورانيوم المخصب (بالنسبة المطلوبة) وكذلك كميات أكبر من اليورانيوم المستنفد.



شكل رقم (1) شكل توضيحي لعمليات التخصيب وتكوين اليورانيوم المستنفد

ومن المهم أن نذكر أنه عند تحضير كيلو جرام من اليورانيوم منخفض التخصيب (الذى يحتوى ٢-٥% من اليورانيوم-٢٣٥) يتكون فى نفس الوقت من ٥ الى ١٠ كيلوجرامات من اليورانيوم المستنفد. وعندما تكون هناك حاجة لتحضير يورانيوم عالى التخصيب (٩٠% فأكثر من اليورانيوم-٢٣٥) لاستعماله فى إنتاج الأسلحة النووية أثناء الحرب الباردة، كان تحضير كيلو جرام واحد مخصب (بنسبة ٩٠% أو أكثر) يؤدى الى تكوين ٢٠٠ كيلو جرام من اليورانيوم المستنفد.

وبينما يتحول اليورانيوم المخصب إلى أماكن الاستخدام الرئيسية التى هـى إمـا مصنع وقود المفاعلات أو مصانع إنتاج الأسلحة الذرية كانت الكميـات الأكبـر مـن اليورانيوم المستنفد على هيئة سادس فلوريد اليورانيوم تعالج كيميائيـاً لتحويلهـا إلـى اليورانيوم المستنفد الفلزى الذى يطلق عليه اسم فلز دربى.

وقد كانت عمليات التخصيب تجرى على قدم وساق على مدى النصف الثانى من القرن العشرين فى عدد من الدول النووية وبشكل رئيسى فى الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتى والمملكة المتحدة وفرنسا وألمانيا الاتحادية بهدف تحضير يورانيـوم مخصب بنسب مرتفعة لأغراض التسلح النووى ويورانيوم منخفض التخصيب لاستعماله كوقود للمفاعلات الذرية المستعملة فى أغراض البحث العلمى أو لإنتاج الطاقة. كمـا كانت هناك عمليات تخصيب على مستوى أقل فى كل من الصين وهولنـدا واليابـان وجنوب أفريقيا بهدف إنتاج يورانيوم منخفض التخصيب.

ويتضح من تقرير لجنة خبراء دولية أن المخزون العـالمى حتـى عـام ١٩٩٥ يقترب من ١,١ مليون طن من اليورانيوم المخصب، وهذا يمثل إنتاج فترة سباق التسلح والاندفاع الشديد فى عمليات التخصيب للحصول على كميات لها شأنها من اليورانيـوم عالى التخصيب (HUE) من جانب الدول العظمى النووية.

وبعد انهيار الكتلة الشرقية وبقاء قوة عالمية وحيدة ومع الاتجاه الـى تخفـيض التسلح النووى على المستوى الدولى، فإنه من المنتظر أن تقل الحاجة إلـى عمليـات التخصيب مرتفعة الكفاءة خاصة وأن الاستخدامات المدنية فى المفاعلات يمكن أن تتم باستخدام اليورانيوم متوسط التخصيب من ٥-٣٠% مـن اليورانيـوم-٢٣٥. ويجـب ملاحظة أنه خلال الفترة ١٩٩٥-٢٠١٥م سيتراكم حوالى مليون طـن إضـافى مـن اليورانيوم المستنفد يجب وضعها فى الاعتبار. وسوف يستخدم اليورانيـوم المـستنفد للأغراض النووية وغير النووية إلا أن جزءاً كبيراً منه سيظل موجـوداً حتـى عـام ٢٠١٥م.

المواصفات العامة لليورانيوم المستنفد :

١- يتميز اليورانيوم المستنفد بكثافته المرتفعة (١٨,٩٥ ميجا جرام/م٣) التى هى أكبر من كثافة الرصاص وتساوى تقريباً كثافة التنجستن والذهب، وعلى ذلك فإن شريحة رقيقة من اليورانيوم المستنفد يمكن لها لأن تمتص كمية من الإشعاعات المخترقة (أشعة جاما) أكبر بكثير مما يمكن أن تمتصه شريحة ذات سماكة أكبر بكثير مصنوعة من الرصاص أو الحديد.

٢- اليورانيوم المستنفد أرخص سعراً بكثير من بعض الفلزات الثقيلة كالذهب والبلاتين.

٣- اليورانيوم المستنفد متوفر بكميات كبيرة (المخزون الحالى يبلغ مليون ومائه وعشرين ألف طن)، وإذا ظلت معدلات إنتاجه المعلنة فى ١٩٩٥ كما هى فسوف تتراكم منه كمية تقارب المليون طن خلال السنوات العشر القادمة.

المواصفات الفنية لليورانيوم المستنفد :

١- يمكن تشغيل فلز دربى بسهولة فى مختلف العمليات الصناعية مثل الصهر والسبك والبثق والدلفنة (الدرفلة) والتطريق والتشكيل فى قوالب باستخدام الطرق، كما يمكن معاملته بجميع وسائل تشغيل الفلزات مثل السحب كألواح والسحب كأنابيب، والتشكيل فى قوالب (Die forging) وكل هذه الأساليب تُجرى بسهولة أكبر كثيراً من حالة فلز التنجستن.

٢- ينصهر اليورانيوم المستنفد عند درجة حرارة ١٢٠٠ – ١٤٠٠ °م ويصب من قاع إناء الصهر بسبب وجود الأكاسيد طافياً على السطح.

٣- لليورانيوم المستنفد سبائك جيدة تساعد فى زيادة الصلابة أهمها :

(Ti 0.75-U) درجة الإنصهار ١٢٠٠ °م ، الكثافة ١٨,٦ ميجا جرام / م٣.

(Mo 2-U) درجة الإنصهار ١١٥٠ °م ، الكثافة ١٨,٥ ميجا جرام / م٣.

إن كل هذه الصفات والمواصفات لليورانيوم المستنفد تجعله من أجود المواد التى يمكن استخدامها فى حالة الحاجة إلى أجسام صغيرة الحجم ولكنها ثقيلة جـداً بالنـسبة لحجمها. وبسبب وجود اليورانيوم المستنفد بشكل وفير نـسبياً ازدادت الاسـتخدامات الصناعية غير النووية له بالإضافة الى بعض الاستخدامات النووية فى السنوات القليلة الماضية.

استخدامات اليورانيوم المستنفد :

يستخدم اليورانيوم المستنفد فى عدد من المجالات نتيجة لمواصفاته وخصائـصه المواتية التى أدت إلى تفضيله عن الكثير من الفلزات الأخرى، وفيمـا يلـى عرضـاُ لاستخداماته المختلفة:

أولاً : الاستخدامات العسكرية لليورانيوم المستنفد :

بسبب كثافته العالية يستخدم اليورانيوم المستنفد بـشكل رئيـسى فـى تـصنيع المقذوفات (القذائف) العسكرية التى تتميز بقدرتها الكبيرة على اختراق الأهداف بكفاءة شديدة. كما استخدم اليورانيوم المستنفد كذلك فى تصنيع الـدروع المنيعـة للـدبابات وناقلات الجنود. وما شجع هذة الدول علي ابتكار هذا السلاح الخطير هو ان اتفاقية منع انتشار السلاح النووي لم تجرم استخدام مثل هذا النوع من اليورانيوم علي اعتبـار ان الاتفاقية تختص بالمواد الانشطارية فقط وبرغم انة سلاح نووي اثبتت التجارب العملية انة شديد الفتك والاختراق بعد خلطة ببعض المعادن الاخـري ولكـن لان اليورانيـوم المستخدم فية من النوع الذي لا ينشطر فلم يدخل ضمن الاسلحة النووية الممنوعـة او المجرمة دوليا وهذا مافوجي بة علماء الطاقة الذرية!! هذا علي الرغم من ان عمـرة الاشعاعي اطول من عمر الكون والشمس والارض ويحتاج الي ٤٥ مليار سنة حتـي تقل قدرتة علي الاشعاع والاذي.

وقد استخدمت هذه القذائف المقواة باليورانيوم المستنفد فى أثناء حـرب الخلـيج حيث استخدمت ٩٤٠ ألف قذيفة طائرات بمقدمة من اليورانيوم المنضب بـ (٣٠ سـم طول) فى حرب الخليج الأولى ، وحوالى ١٤ ألف قذيفة دبابات مما أدى الى انتـشار أكثر من ٨٠ طن يورانيوم فى البيئة بالبصرة فى العراق على الخصوص ونظرا لقدرة

قذائف اليورانيوم علي اختراق الدروع وتميزة بانتاج حرارة عالية عند احتراقة تــصل الي ٤ الاف درجة مئوية تفوق درجة انصهار الحديد كماينتج عنة غبــار ذري يلــوث الانسان والحيوان عندما يصلة عن طريق الاكل او المياه او التنفس او الجلد حيث تؤكد البحوث ان الدم والجهاز التناسلي يعتبران الاكثر حساسية لهذا النوع من الملوثات ثــم يلي ذلك النخاع والجهاز الهضمي والعضلات والغريب ان المخ يعتبر اقل اجزاء الجسم تأثرا بالاشعاع بينما الحامض النووي يعتبر الاكثر تأثرا وهذا ما يفسر ولادة واصـــابة الاطفال بسرطان الدم في العراق واصابة الفتيات الصغار بسرطان المبــيض والثــدي بنسب تتجاوز ٦ اضعاف النسب المعروفة . ويجب الا نغفل ان دفن قذائف اليورانيــوم المنضب في باطن الارض بعد انتهاء الغارة يؤدي الي وجود مصدر تلوث حيث يحدث تاكل للمقذوفات وتختلط بالتربة وتهدد المياه الجوفية والحياة عموما في هذة المواقع علي المدي الطويل. ان ماألقي علي العراق في حرب الخليج الثانية من هذة القنابل يقدر بـــ ٣٠٠ طن واذا ما حولت هذة الكميات الي طاقة كهربائية فانها تكفي لاناره الولايـــات المتحدة الامريكية عاما كاملا فضلا عن انها تعادل نحو٦ قنابل ذرية من النوع الــذي اسقط علي هيروشيما. والامر الخطير ان قذائف اليورنيوم المنضب موجــودة وتنــتج حاليا في العديد من الدول ومنها اسرائيل وهي تستخدمها ضد الفلسطينين كما استخدمتها امريكا في كوسوفو والبلقان وافغانستان.

أن تكلفة تنظيف البيئة من اثار هذا السلاح مكلفة جدا ولاتقدر عليها دولة بمفردها حيث اشارت التجارب العملية الي ان تنظيف مساحة ٢٠٠ هكتار من الارض تكلف ٤ بلايين دولار.

ثانياً : الاستخدامات السلمية لليورانيوم المستنفد :

أ- الاستخدامات غير النووية :

١- التدريع ضد الإشعاع :

يستخدم اليورانيوم المستنفد فى صناعة الحاويات التى تستخدم كأوعية فائقة المتانة لنقل الوقود المستنفد فى المفاعلات بمختلف أنواعه، وتكون هـذه العلـب عادة ثقيلة جداً (عدة آلاف من الكيلوجرامـات) لتـوفير الحمايـة الميكانيكيـة لمجموعات قضبان الوقود مرتفعة الإشعاعية الموجودة بداخلها بعد إخراجها من المفاعلات الذرية. كما أن هذه الأوعية تكون قادرة كذلك على تحمـل وتوزيـع الحرارة المولدة من عناصر الوقود المستنفد. وعادة ما تغلف هذه العلب بالصلب غير القابل للصدأ للحد من تآكلها ومنع التلوث. ويستخدم اليورانيوم المستنفد كذلك فى تصنيع الحاويات الصغيرة نسبياً المستعملة فى نقل النظائر والمصادر المشعة للأغراض الطبية والصناعية. وفى هذه الحالة يستخدم اليورانيوم المستنفد كبديل للرصاص، الذى ينبغى استخدام كميات كبيرة منه لصناعة دروع مكافئـة لتلـك المصنوعة من اليورانيوم المستنفد، أو كبديل للتنجستن الذى هو أكثر تكلفة وأكثر صعوبة فى التشغيل لإنتاج الأشكال المعقدة اللازمة للتدريع. ويستخدم اليورانيوم المستنفد كدرع وكذلك كمادة إنشائية للدرع. كما يستخدم اليورانيوم المستنفد كذلك على نطاق واسع فى تجهيزات التصوير الإشعاعى الصناعى لاحتـواء وحجـب المصادر المشعة القوية مثل الإريديوم-٩٢ والكوبلـت-٦٠ والـسيزيوم-١٣٧ المستخدمة فى هذه التقنيات.

٢- أثقـــال الموازنـــة :

تُستخدم هذه الأثقال فى الأدوات المستخدمة للسيطرة على حركة الأجـــسام الطائرة فى الهواء كالطائرات والصواريخ والمروحيات لكى تحافظ على مركـــز الثقل بها بأسلوب دقيق. ويستعمل اليورانيوم المستنفد فى كتل الموازنة فى ذيـــل وجناحى الطائرات وكذلك فى تحقيق توازن ريش محركات الطائرات المروحية. إن اليورانيوم المستنفد ليس خطيراً فى حد ذاته ولا توجد مخاطر مباشـــرة مـــن استخدامه فى أسطح التحكم فى الطائرات المدنية، ولكن الخطر مؤكد فى حالـــة وقوع الحوادث التى تشهد تحطم الطائرات واشتعال النيران فيها. وفى حالة سقوط الطائرات يصاحب ذلك عادة اشتعال النيران وهى التى تحول اليورانيوم المستنفد الموجود الى غبار قابل للإستنشاق مما يؤدى الى دخول ذلك الغبار الـــى جـــسم الإنسان وإصابته بالسرطان فى الرئة الذى يمكن أن ينتقل بعد ذلـــك الـــى كـــل أعضاء الجسم، خاصة العظام، كما أنه يمكن ن يدخل عن طريق الفم الى المعدة ومنها الى الأمعاء ثم ينتقل الى الدم كمادة سامة مسبباً الإصابة بالسرطان، كما أنه سُماً ضاراً بالكلى وكل أعضاء الجسم. وقد وقعت حوالى خمسون حادثة طيران من عام ١٩٧٠ الى الآن لطائرات البوينج ٧٤٧ فقط، وهى التى تُستخدم بكثرة فى خطوط النقل الدولية. وهناك ٥٥٠ تجهيزة يورانيوم مستنفد استخدمت فـــى تلـــك الطائرات خلال عشر سنوات فقط (١٩٦٨ – ١٩٨١)، ويصل وزن الأثقال فـــى طائرة البوينج الى حوالى ١٥٠٠ كجم وفى بعض الأحيـــان يـــستخدم التنجـــستن لاستكمال الموازنة وتخفيض كمية اليورانيوم المستنفد المستخدمة الى حوالى ٣٥٠ كجم. ويصل سعر التنجستن الى ١٥٠ $ للكيلـــوجرام، بينمـــا لا توجـــد قيمـــة لليورانيوم المستنفد باعتباره نفاية.

٣- قضبان الغمر فى آبار البترول (Oil Well Sinker Bar) :

يُستخدم اليورانيوم المستنفد فى عمليات سبر آبار البترول من خلال استعماله فى قضبان الغمر ، التى تتكون من أثقال من اليورانيوم المستنفد مغلفة بالـــصلب تساعد على إنزال أجهزة وأدوات السبر الى أسفل فى ابار البترول التى تحتـــوى على سوائل عالية الكثافة لها قدرة كبيرة على الدفع لأعلى وبالتالى فهى تعـــوق

عملية نزول الأجهزة الى أسفل، وتكمن أهمية استخدام اليورانيوم المستنفد فى كثافته العالية التى تساعد على تكون قضبان الغمر المعاونة صغيرة ولكنها ثقيلة فى نفس الوقت بدرجة كافية.

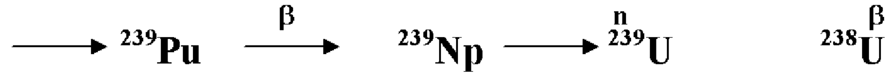
٤- استعمالات أخرى مختلفة :

يُستخدم اليورانيوم المستنفد فى تصنيع حافة الجزء الدوار من الجيروسكوب بكل نجاح من سبيكة من (U-8 Mo) مع البريليوم خفيف الوزن. كما جرى استخدام اليورانيوم المستنفد كذلك فى قضبان الثقب (Boring bars) وأدوات الخراطة لتخفيف الاهتزازات أثناء التشغيل. وتختلف مواصفات اليورانيوم المستنفد باختلاف طريقة الإنتاج ونوعية الشوائب مثل الكربون والسليكون والحديد والألومنيوم التى تؤثر على الخواص الميكانيكية، كما تتأثر الصلابة والقوة بدرجة كبيرة بأسلوب المعاملة الحرارية.

ب- الاستخدامات النووية :

١- إنتاج البلوتونيوم :

يُستخدم اليورانيوم المستنفد فى اليابان فى المفاعل السريع (Monju) على هيئة أغطية لتكوين البلوتونيوم، كما يستخدم فى المفاعل نفسه كعاكس.



$$^{238}U \xrightarrow{n} {}^{239}U \xrightarrow{\beta} {}^{239}Np \xrightarrow{\beta} {}^{239}Pu$$

وعادة ما يجرى هذا التفاعل كذلك فى المفاعلات العادية كما يجرى فى المفاعلات الولودة.

٢- وقود الأكاسيد المختلطة (MOX) :

يتكون الوقود المعتاد للمفاعلات الذرية من أقراص من ثانى أكسيد اليورانيوم الخزفى داخل غلاف من الزركالورى. ويحتوى ثانى أكسيد اليورانيوم على نسبة مرتفعة قليلاً من U-235 تتراوح عادة بين ٣ – ٨ % وربما أكثر فى بعض الأحيان خاصة فى حالة مفاعلات القوى العملاقة حتى يمكن استمرار التفاعل المتسلسل فى الوقود داخل المفاعل. وبعد رفع نسبة اليورانيوم-٢٣٥ عن طريق التخصيب عملية مكلفة جداً تستهلك الجزء الأكبر من تكلفة إعداد الوقود،

لذلك ظهرت فكرة استخدام البلوتونيوم-٢٣٩ كمـــادة انـــشطارية تــضاف الـــى اليورانيوم المنضب بالنسبة المناسبة لإعداد نوع حديث من وقود المفاعلات يسمى وقود الأكاسيد المختلطة.

ويتكون البلوتونيوم داخل قضبان الوقود فى المفاعلات أثناء التـــشغيل مـــن اليورانيوم-٢٣٥ الذى يتواجد فى الوقود بنسبة لا تقل عن ٩٢ %، ويمتص نتروناً أثناء التشغيل فى المفاعل ليكون البلوتونيوم-٢٣٩ وما بعده من عناصر. ونظراً للاختلاف الكيميائى بين اليورانيوم والبلوتونيوم فإنه يمكن فصلهما بسهولة أكثر من خلال عملية إعادة معالجة الوقود النووى المستهلك التى هى أقل تكلفة بكثير من عملية تخصيب اليورانيوم. يستخدم البلوتونيوم الناتج مـــن إعـــادة المعالجـــة كعنصر انشطارى عند إعداد وقود الأكاسيد المختلطة بدلاً من اليورانيـــوم-٢٣٥ الموجود فى الوقود اليورانيومى العادى.

ويتكون وقود الأكاسيد المختلطة من خلط أكسيد اليورانيوم المنضب (الـــذى يحتوى على نسبة متدنية من اليورانيوم-٢٣٥ فى حدود ٠,٢ %) بنـــسبة ٩٢ - ٩٣ % مع أكسيد البلوتونيوم الناتج من إعادة المعالجة بنـــسبة ٧-٨ %، وهـــذا المخلوط يحتوى فى النهاية على نسبة ٤-٥ % مـــن البلوتونيـــوم الانـــشطارى، ويحول هذا المخلوط الى الحالة الخزفية بالمعالجة الحرارية. ومن الجدير بالذكر أن المستوى الإشعاعى لوقود الأكاسيد المختلطة أكبر من المـــستوى الإشـــعاعى لوقود ثانى أكسيد اليورانيوم بعد التصنيع ولذلك فهو يحتاج الى تـــدريع إضـــافى وحرص أكبر عند النقل والتداول. كما أنه عند وضعه فى المفاعل سوف تختلف خصائصه عند التشغيل عن خصائص الوقود العادى، وهو مـــا يتطلـــب بعـــض التعديل فى أساليب التشغيل ولكن هذه الاختلافات ليست كبيرة ويجـــرى تقليلهـــا تدريجياً. ويمكن تقدير احتياجات مفاعلات القوى من وقود الأكاسيد المختلطة إذا علمنا أنه فى مفاعل بقدرة ٩٠٠ ميجا واط كهربائى يوجد ٥٢ مجموعة وقود، من بينها توجد ١٦ مجموعة من وقود الأكاسيد المختلطة تحتوى فى مجملهـــا علـــى ٣٩٠ كجم من البلوتونيوم مع ٧ أطنان من اليورانيوم المستنفد. وقـــد اســـتهلكت المفاعلات الأوربية حتى الآن ٣٠٠ طن من وقود الأكاسيد المختلطة منهـــا ٢٨٠ طن من اليورانيوم المستنفد. وسيساعد هذا النوع من الوقـــود علـــى اســـتهلاك

البلوتونيوم المتراكم لدى الدول الكبرى، وبصفة خاصة اليورانيوم العسكرى الذى يمثل بقاؤه تهديداً لعملية منع انتشار الاسلحة النووية. إلا أن معدل استخدام اليورانيوم المستنفد فى مختلف أنواع الوقود لا يتناسب مع السرعة التى يجب أن يتناقص بها ذلك النوع من اليورانيوم حتى لا تتزايد عمليات الاستفادة به فى إنتاج القذائف والدروع فى المجالات العسكرية.

والسؤال الآن كيف نتعرض لجرعات من اليورانيوم فى حياتنا اليومية (كما بالرسم) ويمكن اختصارها فى الآتى :

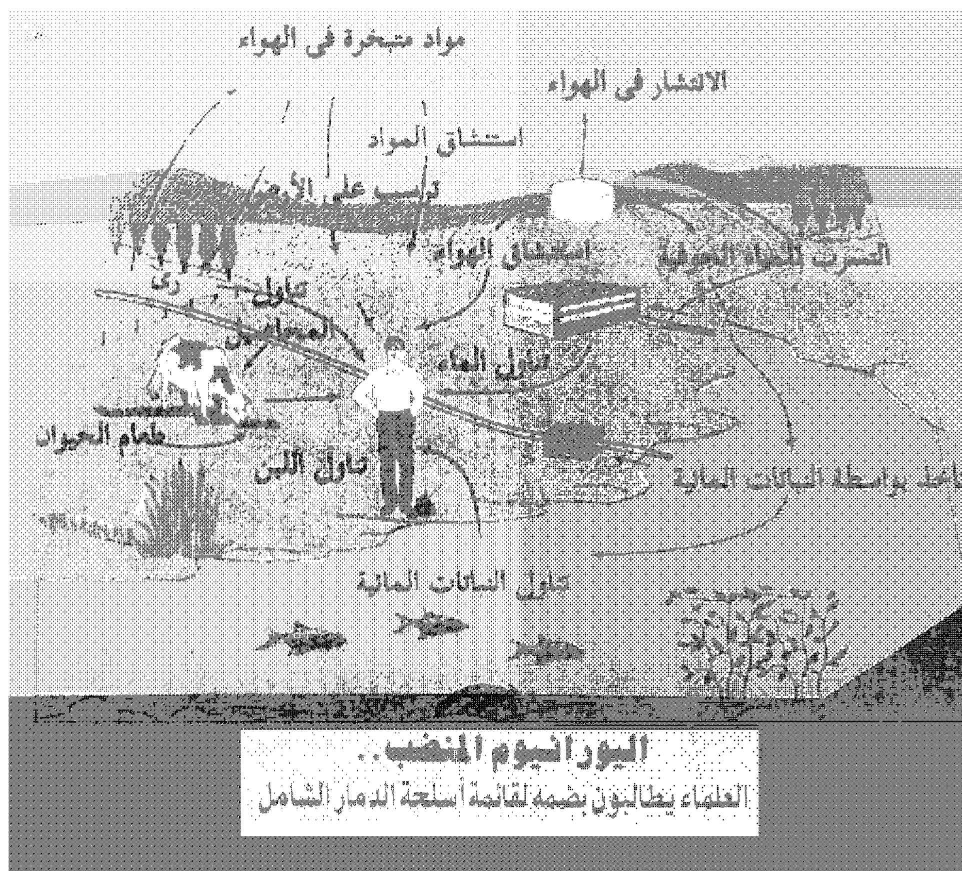
١- عن طريق استنشاق الغبار المعلق فى الهواء والملوث بجزيئات من غبار اليورانيوم (العاملين فى مصانع الفوسفات – اليورانيوم – المسابك .. الخ).

٢- شرب مياه ذات مستوى فوق الطبيعى من اليورانيوم.

٣- عن طريق الطعام الملوث الذى يحتوى مستويات أعلى من الطبيعى.

اخيرا خرجت الوكالة الدولية للطاقة الذرية عن صمتها حيث اوضحت قلقها تجاة استخدام قذائف اليورانيوم المنضب ضد الشعوب في العمليات الحربية واعتبارة سلاحا ممنوعا دوليا. وطالب الدكتور محمد البرادعي بتكوين لجان متخصصة لمسح اماكن العمليات الحربية التي استخدم فيها هذا السلاح وذلك بعد ان ثبت لعلماء الطاقة الذرية ان هذة الاسلحة تدخل ضمن اسلحة الدمار الشامل وذلك لشدة فتكها بالبيئة واوجة الحياة علي الارض حيث يظل غبارها الذري عالقا بالجو (٧٠% من نواتج الانفجار تبقي عالقة في الجو وانتشاره مما يلوث الارض والزرع والحيوان والانسان ملايين السنين. كما اكدت المسوحات التي اجريت علي العديد من المناطق التي دارت بها حرب الخليج الي وجود مستويات اشعاعية عالية علي سطح التربة واحتمالات تسربها الي المياة الجوفية والسطحية كما يظل غاز الرادون عالقا بالهواء وينتشر في الهواء الاف الكيلومترات. وكون اليورانيوم يمثل سمية كيماوية وخطورة إشعاعية معاً ويجب أخذها فى الحسبان عند تقدير المخاطر (Risk assessment). ومن التقارير المنشورة تلاحظ أن البيانات الخاصة بالسمية الكيميائية للإنسان على المدى الطويل غير كافية

وأن معظم النتائج المنشورة من دراسات متوسطة المدى على الحيوانات. كما نلاحظ أن المعايير standards للجرعات الإشعاعية وتلك الكيماوية غير متوافقة من حيث وحدات القياس. وسوف نكتفى ببعض الدراسات المنشورة دون الدخول فى التفاصيل الدقيقة.



فى دراسة مرجعية (ASTSDR1999) عن الأعمال المنشورة عن حدود سمية اليورانيوم أجريت على الحيوانات تم حساب واستنتاج حدود السمية بالنسبة للإنسان نتيجة لاستنشاق غبار اليورانيوم فى الهواء فى حدود ٠,٤ ميكروجرام/م^{3} هواء فى حالة التعرض المتوسط لجزيئات تحمل اليورانيوم فى صورة ذائبة. أما فى حالة ما إذا كانت مركبات اليورانيوم غير ذائبة ترتفع النسبة الى ٨ ميكروجرام/م^{3} وفى دراسة عن التعرض المزمن لمركبات ذائبة تظهر حدود السمية عند ٠,٣ ميكروجرام/م^{3}. وفى دراسة أخرى (Jacob 1997) أظهرت النتائج تأثير ضار على وظائف الكلى لدى فئران التجارب عند مستوى ٢,٦ ميكروجرام يورانيوم / كجم / يوم (هذا التركيز داخل

أنسجة الكلى) ناتج عن تركيز مستويات لليورانيوم فى الهواء تعادل ٤٠ ميكروجرام/م^{٣} هواء ، وباستخدام بعض معاملات التحويل والأمان تقابل هذه الحدود مستوى ٠,٠٧ ميكروجرام/م^{٣} هواء بالنسبة للإنسان.

أما إذا نظرنا الى الدراسات الخاصة بالضرر الإشعاعى فنجد أن الحدود الدنيا بناء على جرعة ١ ملى سيفرت/سنة ومعدل تنفس ٠,٩ م^{٣}/ساعة ونعرض مستمر تتوقف على نسبة النشاط الإشعاعى فى الغبار وكميته فى الهواء وصوره (ذائبة أو غير ذائبة) كما فى الجدول التالى :

الغبار ناتج عن	صور غير ذائبة (ميكروجرام/م^{٣})	صور ذائبة (ميكروجرام/م^{٣})
يورانيوم طبيعى نقى	٠,٥٨	٩,٤٠
يورانيوم طبيعى منضب ٣,٥ %	٠,١٧	٢,٨٠
يورانيوم منضب ٠,٢ %	١,٠٥	١٧,٠
يورانيوم معاد تدويره	٠,١٨	١,٦٠
يورانيوم مخصب معاد تدويره ٣,٥ %	٠,٠٤	٠,٣٢
يورانيوم منضب معاد تدويره ٠,٢ %	٠,٦٧	١١,٠

هذه النتائج فقط لحساب حدود السمية نتيجة استنـــشاق الغبـــار المحتـــوى علــى يورانيوم، وهناك طريق آخــر وهــو عن طــريق الأكل والشــرب المحتوى علــى نسبة من اليورانيوم Oral Ingestion. ويمكن تلخيص بعض النتــائج المتحــصل عليها فى الجدول التالى :

حدود السمية الكيميائية فى الطعام والشراب بالنسبة للإنسان

المرجع	مستوى يومى مسموح به (ميكروجرام/كجم/يوم)	حدود سنوية على أساس ٧٠ كجم للإنسان البالغ (مليجرام)	التركيز فى مياه الشرب على أساس ٥٠ لتر/سنة (مليجرام/لتر)
ASTSDR, 1999	٢,٠	٥١,٢	١,٢
Jacpb, 1997	٠,٧	١٧,٩	٣٦,٠
WHO, 1998	٠,٦	١٥,٣	٣١,٠

وفى دراسات حديثة على مياه الشرب المحتوية على نسب مختلفة من اليورانيوم ظهر بوضوح أن مستويات يورانيوم أكثر من ٢-٣٠ ميكروجرام/لتر تؤدى حتماً الى تغيرات ضارة فى وظائف الكلى، أما الدراسات الخاصة بالضرر الإشعاعى فيمكن تلخيصه فى الجدول التالى :

وقد قدرت وكالة حماية البيئة الأمريكية الحدود القصوى لتلوث المياه الجوفية الطبيعية باليورانيوم فى حدود ٣٠ ميكروجرام/لتر ، ويسمح باستخدام الآمن عند مستوى ٢٠ ميكروجرام/لتر للشخص البالغ (وزن الجسم ٧٠ كجم) ومعدل شربه ٢ لتر/يوم.

الغبار ناتج عن	**حدود سنوية على أساس ١ مللى سيفرت/سنة (مليجرام)**	**التركيز فى مياه الشرب (ميكروجرام/لتر)**
يورانيوم طبيعى نقى	٨١٣	١٦٣٠
يورانيوم طبيعى منضب ٣,٥ %	٢٥١	٥٠٠
يورانيوم منضب ٠,٢ %	١٤١٠	٢٨٢٠
يورانيوم معاد تدويره	٢٥٧	٥١٥
يورانيوم مخصب معاد تدويره ٣,٥ %	٦٦	١٢٠
يورانيوم منضب معاد تدويره ٠,٢ %	٩٢٣	١٨٥٠

مستويات اليورانيوم فى بعض الأراضى المصرية :

تم تقدير محتوى عنصر اليورانيوم فى عينات تربة زراعية (يتم تسميدها بالأسمدة الفوسفاتية) وتربة غير مزروعة (لا تسمد) وكذلك عينات رواسب من بعض المصارف الزراعية، وتم جمع هذه العينات من القليوبية – الشرقية – الدقهلية والمنوفية. وأثبتت النتائج أن التربة المسمدة لها أعلى مستوى إشعاعى وذلك بسبب الاستعمال الواسع لسماد السوبر فوسفات والجبس الفوسفاتي والذى يحتوى على نسبة من اليورانيوم، وكانت تركيزات اليورانيوم بين ٠,٤١ – ٥,٥٩ جزء فى المليون. ونتيجة وجود القيم العالية فى رواسب قاع المصارف الزراعية يمكن استنتاج أن اليورانيوم من العناصر المشعة التى تنتقل وتهاجر فى مكونات التربة بسهولة نسبية أكثر من العديد من العناصر الثقيلة الأخرى. وفى دراسة أخرى بسوريا تراوحت تركيزات اليورانيوم فى التربة بين ٠,٤ – ٣,٩ جزء فى المليون إما فى منطقة الصخور الفوسفاتية المتفسخة فقد بلغت ٢٢-٢٩ جزء فى المليون.

امتصاص النبات لليورانيوم :

تحت عملية امتصاص اليورانيوم بواسطة جذور النباتات نتيجة تفاعلات التبادل الأيونى (Ion-exchange reactions) بين اليورانيوم المحمول فى محلول التربة وأنسجة الجذور، وتختلف النباتات فى ذلك من عنصر لآخر، وقد يكون الاختلاف بسبب عدم توافر عوامل بيئية تساعد على ذلك كما هو الحال بالنسبة لليورانيوم، حيث أوضحت معطيات البحوث والدراسات المنجزة فى هذا الخصوص المؤشرات والعوامل التالية :

١- يحدث امتصاص اليورانيوم بشكل أفضل من قبل النباتات ذات النسخ الحامضى (Acide spa) وذات القدرة التبادلية العالية، وقد قدرت الحامضية وفق مصادر مختلفة ضمن الحدود التالية : pH 4-5.

٢- النباتات ذات المعدلات العالية للتعرق (Transpiration) تنقل معظم الأيونات ومن بينها اليورانيوم الى الأجزاء العليا من النبات.

٣- المستويات المنخفضة لتراكيز الفوسفات فى التربة تعمل على زيادة قابلية النبات لامتصاص اليورانيوم.

٤- المستويات العالية لتراكيز الكربونات فى التربة تعمل على زيادة قابلية النبات لامتصاص اليورانيوم.

٥- ينشط امتصاص النبات لليورانيوم عندما يكون تركيز البوتاسيوم قليلاً فى محلول التربة.

٦- عندما تزداد تراكيز بعض الأملاح بنسبة عالية فى محلول التربة فإن اليورانيوم يميل للبقاء فى المحلول وعدم الانتقال الى جذور النبات. كما أن امتصاص النباتات للعناصر يختلف حسب نوع النباتات (Species) وكذلك طبيعة العناصر، فهناك أنواع من النباتات لها قدرة انتقائية على امتصاص بعض الفلزات ، كما أن بعض أنواع من النباتات لها قدرة انتقائية على عدم امتصاص عناصر معينة موجودة فى محلول التربة. ونتيجة ذلك توجد عدة أنماط سلوكية للنباتات من ناحية أنشطة الميل الانتقائى لامتصاص العناصر أو المركبات الكيميائية بما يؤدى الى تباين ملحوظ فى تركيز العنصر فى النبات بالمقارنة مع تركيزه فى التربة إضافة إلى ميل بعض النباتات للنمو فى ترب ذات تراكيز معينة من بعض العناصر.

مظاهر تأثيرات امتصاص اليورانيوم من قبل النبات :

تقسم العناصر إلى ثلاث مجموعات على أساس الحاجة الغذائية (Nutrition) للنباتات من أجل ديمومة دورتها الحياتية فهنالك مجموعة أساسية للتغذية أو ما يعرف بـ (Macronutrient elements) مثل عناصر H, O, N, V, S, K, Ca, Mg ومجموعة العناصر الثانوية (Micronutrient elements) مثل عناصر Fe, Cu, Mn, Zn إضافة إلى مجموعة عناصر غير أساسية والتى لا يعرف لها دور أساسى فى تغذية النباتات وهى مجموعة كبيرة من العناصر من بينها اليورانيوم. وعندما تنقص أو تزيد كمية أو تراكيز تلك العناصر فى محلول التربة عن حدود حاجة النباتات فسوف يؤثر ذلك على معدل النمو أو حدوث تشوهات على الأجزاء العضوية أو الصفات الفيزيائية بأشكال مختلفة.

أوضحت الفحوصات الميدانية أن النباتات التى تميل للتعايش الانتقائى فى اراضي غنية باليورانيوم نادرة جداً ومتمثلة بنوع واحد من الأشجار الصنوبرية (Lupine) من نوع (*Lodgepols pine*) الذى يميل للنمو بشكل نشط فى اراضي ذات تراكيز عالية لليورانيوم، كما لوحظ ذلك فى مناطق ألاسكا فى الولايات المتحدة الأمريكية. وجد أن تركيزات اليورانيوم فى بعض محاصيل الغذاء فى اليمن تتراوح بين ١,١– ٧,٦ جزء فى المليون وهذا يتفق مع معظم الدراسات التى أوضحت أن المستويات الطبيعية لليورانيوم فى رماد النباتات عادة اقل من ٢ جزء في المليون اما القيم العالية فكانت في حالة نبات القات فقط.

أما فيما يتعلق بامتصاص النباتات لليورانيوم من محلول التربة وارتفاع تركيزه فيه أو فى بعض أجزائه فإن الدراسات الكثيرة فى هذا الخصوص أوضحت رصد تراكيز عالية لليورانيوم فى رماد (Ash) النباتات التى تنمو فى اراضي ذات تراكيز غير اعتيادية لليورانيوم وبهذا الخصوص فإن أعلى تركيز تم رصده (U 2.5%) فى أشنات وطحالب فى نيوزيلاندا، وكذلك فى غصون النباتات الصنوبرية فى بعض المناطق فى كندا حيث بلغت ٢٢٧٠ جزء فى المليون فى رماد الغصون، وأيضاً فى جذور شجرة العرعر وهى من فصيلة الصنوبريات حيث رصدت تراكيز فى رماد الجذور بلغت ١٦٠٠ جزء فى المليون فى مناطق كولورادو فى أمريكا. وفى سوريا وجد أن *Galium canum* يحتوى على تركيزات ٨٤ جزء فى المليون وإنه ينمو فقط فى أراضى رواسب الفوسفات ، وكذلك نبات *Lagurus ovatus* وكان تركيز اليورانيوم فى جذوره ٩٣ جزء فى المليون وفى مجموعة الخضري حتى ٣٣ جزء فى المليون.

وبصورة عامة فإن النباتات منخفضة الرتبة (Low order) مثل الطحالب والأشنات تمتص اليورانيوم حالاً وبسهولة وتركزه فى جميع أجزائها، بينما النباتات عالية الرتبة (High order) تمتص اليورانيوم وتركزه فى بعض أجزائها كالجذور والأغصان.

مقالات نووية (٤)

الطاقـة الذريـة والطـب النـووى

مقدمـة :

فتح توافر النظائر المشعة الباب على مصراعيه فى مجالات عديدة فى الطب ، وأصبح هناك تخصص قائم بذاته يسمى بالطب النووى وهو قائم أساساً على استخدام نظائر مشعة أو مصادر إشعاع لاقتفاء الأثر فى حالة التشخيص أو العلاج نتيجة الجرعة الإشعاعية المستخدمة ، فعندما يُعطى نظير مشع إلى شخص ما – عن طريق الفم أو الدم – يمكن اقتفاء أثره أو بمعنى آخر معرفة موضوع ذلك النظير وكميته وكيفية توزيعه فى الجسم وذلك باستخدام كواشف بالغة الحساسية تقيس الإشعاع وتقوم بتصويره لحظياً من خارج الجسم مما يساعد بكفاءة عالية على تشخيص أعراض عديدة مثل أورام المخ والغدة الدرقية والرئة والقلب والكبد والكلى والجهاز العظمى والمفاصل وأمراض الدم .. وخلافه.

إن توفر أحدث أنظمة أجهزة القياسات الإشعاعية قد أدخل تعديلات كثيرة على سوق المنتجات الطبية النووية ، ومن أجل تقليل الجرعات الإشعاعية التى يتعرض لها المرضى ، وأيضاً من أجل الحصول على أفضل النظائر المشعة ذات العمق القصير والتى تنبعث منها إشعاعات جاما – تتراوح طاقتها بين ١٠٠- ٢٥٠ كيلو الكترون فولت – قد تطور إنتاجها أكثر فأكثر.

ونظراً للحساسية الفائقة لهذه التقنية فإنه يمكن استعمال كميات محسوبة وصغيرة من النظير المشع وإدخاله للجسم مما يعنى أن الجرعة الإشعاعية التى يتعرض لها المريض تعتبر منخفضة وفى الحدود المسموح بها طبياً.

ومن المفترض أن مصر تتوفر لديها الإمكانيات والمرافق الأساسية اللازمة التى تؤهلها للتوسع فى هذا المجال ، حيث يتوفر المفاعل البحثى الثانى (٢٢ ميجا وات) والمعجل الدائرى ٢٠ مليون إلكترون فولت ، وكذلك معامل إنتاج النظائر والمركبات الصيدلانية المشعة بمراكز هيئة الطاقة الذرية المصرية والتى مر على إنشائها عشرات السنين ، ويبدو لعدم وجود توجه للقيادة السياسية لدفع العملية الإنتاجية توقفت هذه المشاريع تماماً عند بعض التجارب البحثية والبحوث المبعثرة وذلك لعدم وجود خطة طموحة على مستوى الدولة. وتبعية هيئة الطاقة الذرية لوزارة الكهرباء مما أفسد الناحية العلمية.

كان من المفترض بعد افتتاح المفاعل البحثى الثانى عام ١٩٩٨ أن يتم إنتاج اليود-١٣١ والذى كما هو معروف يستخدم فى تشخيص وعلاج أمراض الغدة الدرقية، كما يستخدم فى ترقيم العديد من المركبات الصيدلانية واسعة الاستخدام فى التشخيص الطبى.

ومن المفترض أيضاً إنتاج الفوسفور-٣٢ والذى يستخدم فى المعالجة الإشعاعية للأورام السرطانية وسرطان العظم والجلد. وكما هو معلوم أن العلاج الإشعاعى باستخدام نظير مشع يعطى مجموعة مرتفعة نسبياً عن الجرعة التشخيصية بحيث يتركز فى المنطقة المصابة (الورم) مما يعرضها الى جرعة مركزة من الإشعاع مما يساعد على العلاج والشفاء.

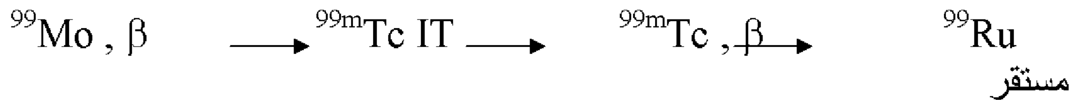
كما يمكن إنتاج التاكسينيوم-٩٩ والذى يتم توليده من المولبيدنم-٩٩ الناتج من عمليات الانشطار فى المفاعل ، وهذه تستخدم مركباته فى تشخيص أمراض المخ والقلب والكلى والجهاز الهضمى والجهاز التنفسى والهيكل العظمى. وبالرغم من أن إمكانيات المفاعل البحثى الثانى تمكن من تحضير المولبيدنم-٩٩ فى صورة چل وبالتالى تحضير التاكسينيوم-٩٩ مما يمكن مصر من الاستغناء عن استيراد هذا النظير وتوفير العملة الصعبة وتحويل المفاعل الى مشروع إنتاجى مربح إلا أن الحقيقة أنه لم يتم إنتاجه وما زلنا نستورده من جنوب أفريقيا وحتى من سوريا وليبيا ، ولست أدرى ما هى العقبات التى تقف أمام هذا المشروع حيث من المفترض أن هناك مشروع لإنتاج مولدات الچل التاكسينيوم-٩٩ بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية الصينية تحت رقابة (يسمونها تعاون) الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

ويعتبر نظير التاكسينيوم-٩٩ من أكثر النظائر المشعة استخداماً فى مجال الطب النووى التشخيصى وذلك فى صورة بير تكنيتات أو على هيئة مركبات مرقمة عديدة للأغراض الطبية ، وهناك ما يقرب من ٣٠ نظير مشع مختلف يتم إنتاجها بواسطة المفاعل النووى ، كما أن هناك أكثر من ٥٠ مركب مرقم قدتم تحضيرها إلا أن المركبات المرقمة بالتاكسينيوم فقط (حوالى ١٢ مركب شائع الاستخدام) هى التى تدخل فى أكثر من ٧٥ % من الدراسات والقياسات الطبية فى مجال الطب التشخيصى.

<u>إنتاج النويدات المشعة :</u>

النويدات المشعة المتوفرة حالياً يزيد عددها عن حوالى ٢٥٠٠ من بينها ٥٨ فقط توجد فى الطبيعة والباقى أنتج صناعياً ، وصناعة إنتاج النظائر المشعة تزداد أهميتها باستمرار وذلك لزيادة الحاجة الى استخدامها فى العديد من التطبيقات المتنوعة. ونحصل عادة على معظم النويدات المشعة المفيدة فى التفاعلات النووية التى نجريها على أهداف مستقرة باستخدام المفاعلات النووية أو حزم الجسيمات المشحونة من المعجلات عالية الطاقة (مثل السيكلوترون). وقد أمكن إنتاج الكثير من النويدات المشعة فى المفاعلات النووية فى تفاعلات (η , α) , (η , β), (η , γ) وتؤدى تفاعلات الأسر النيوترونى الى نظائر أثريت بالنيوترونات التى عادة تكون مشعة ، بينما تؤدى تفاعلات أسر الجسيمات المشحونة وانطلاق النيوترونات الى نواتج مشعة تنقص فيها نسبة النيوترونات عن النويدات الهدف.

ويوضح جدول (١) بعض النظائر المشعة الشائعة الاستخدام بالإضافة الى طرق تحضيرها وصفاتها الإشعاعية.ومن المعروف فى الكثير من التطبيقات الطبية للنظائر المشعة تستخدم مولدات النويدات المشعة أو ما يسمى بنظام البقرة (Cow systems) فى توفير مصدر مستمر لنويدة وليدة قصيرة العمر من والد طويل العمر نسبياً ، وحيث أن الوالد والوليدة ليست نظائر لنفس العنصر فقد يكون من السهل تخليص الوليدة من الوالد بطرق الاستخلاص المألوفة ، ويعتبر النظام ^{99}Mo – ^{99m}Tc من نظم البقرة الشائعة ، والتى تشكل فى الطب النووى معظم الفحوث والدراسات الروتينية ، فى هذه الحالة يمتز المركب الذى يحتوى على الوالدة عادة فى هيئة أنيونات مستقرة :



$$^{99}Mo\ ,\ \beta \longrightarrow {}^{99m}Tc\ IT \longrightarrow {}^{99m}Tc\ ,\ \beta \longrightarrow {}^{99}Ru$$
مستقر

الموليبدات MoO_4^{-2} على سطح عمود من الألومنيا (Al_2O_3) ، ويمكن تخليص الوليدة ^{99m}Tc فى هيئة البيروتكنيات TcO_4^- من على العمود باستخدام محلول ٥,٩ % من كلوريد الصوديوم بينما تبقى الموليبدات مرتبطة بعمود الألومنيا لأنها لا تذوب فى المحلول الملحى. والجدير بالذكر أن الوليدة ^{99m}Tc تمثل حالة اتزان عابر مع الوالد وتصل الى قيمتها العظمى بعد حوالى 23h وإذا استخلصت الوليدة ^{99m}Tc من على العمود (أى حلبت البقرة) عندئذ تبدأ مرة أخرى الوليدة فى النمو لتصل الى قيمة عظمى بعد٢٣ ساعة أخرى ، وهكذا فإن توفر مولد نشاطه الإشعاعى واحد كيورى فإنه يمكننا بهذه الطريقة الحصول خلال أسبوع على كمية من الوليد ^{99m}Tc يحمل نشاطها الإشعاعى ٣ كيورى وذلك كما تستخدم فى التطبيقات الطبية. والواقع أن مولد ^{99}Mo - ^{99m}Tc يعتبر العمود الفقرى لمعظم دراسات الطب النووى العادية.

كما يمكن تحضير العديد من المركبات الصيدلانية المشعة لأغراض التشخيص الطبى لعلاج سرطان العظام وتحديد النمو غير الطبيعى للهيكل العظمى ، وكذلك التعرف على أعراض الضمور أو الورم والعيوب الخلقية ، وأيضاً تستخدم فى تشخيص وظائف الكلى وأعراض الرئة وقياس كفاءة الدورة الدموية الدماغية وتشخيص أمراض المخ مثل الجلطة والنزيف الداخلى.

فى الواقع أن ٩٥ % من الأدوية المشعة تستخدم فى التشخيص لتحديد أداء الأعضاء وقياس سريان الدم وعمليات التمثيل الغذائى والتعرف على أداء مراكز الاستقبال فى المخ والقلب وفحص الأورام وعند إدخال الدواء المشع فى المريض يتركز فى العضو أو النسيج الهدف بسبب مميزات الدواء البيولوجية والفسيولوجية ، ويعتمد التشخيص على تسجيل أشعة جاما المنبعثة من الدواء المشع الذى يتركز فى ذلك العنصر مما يسمح بالكشف عن العضو وتصويره. وقد ذكر فى إحصائية عن المرضى فى الولايات المتحدة الأمريكية أن مريض واحد من كل ثلاثة مرضى يتم تشخيص مرضهم باستخدام الأدوية المشعة.

جدول (١)

تفاعلات إنتاج وصفات تحلل بعض النويدات المشعة الشائعة

النظير المشع (Radionuclide)	تفاعل الإنتاج (Production reaction)	عمر النصف (Half-life)	طريقة التحلل (Decay mode)
^{3}H	$^{6}Li(n,\alpha)^{3}H$	12.33y	β^- (0.018)
^{11}C	$^{14}N(p,\alpha)^{11}C$	20.38m	β^+ 99.76 %;EC 0.24 %
^{14}C	$^{14}N(n,p)^{14}C$	5730 y	β^-(0.157), no γ
^{18}F	$^{20}Ne(d,\alpha)^{18}F$	109.77 m	β^+ 96.9 % ; EC 3.1 %
^{22}Na	$^{24}Mg(d,\alpha)^{22}Na$	2.609 y	β^+ 90.5 % ; EC 9.5 %
^{32}P	$^{32}S(n,p)^{32}P$	14.26 d	β^- ; no γ
^{34m}Cl	$^{35}Cl(n,2n)^{34m}Cl$	32.0 m	β^+ 53 % ; IT 47 %
^{57}Co	$^{58}Ni(p,2p)^{57}Co$	271.8 d	EC and γ
^{60}Co	$^{59}Co(n,\gamma)^{60}Co$	5.27 y	β^- and γ (1.17 &1.33)
^{67}Ga	$^{67}Zn(p,n)^{67}Ga$	78.3 h	EC and γ
^{90}Sr	Fission product	29.1 y	β^- (0.546) ; no γ
^{113}Sn	$^{112}Sn(n,\gamma)^{113}Sn$	115.1 d	EC and γ(0.26 ; 0.39)
^{131}I	$^{130}Te(n,\gamma)^{131}Te(\beta^- \rightarrow)^{131}I$	8.04 d	β^- (0.61) ; γ (0.36)
^{137}Cs	Fission product	30.1 y	β^- (0.516) ; γ (0.662)
^{198}Au	$^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$	2.694 d	β^- (0.962) ; γ (0.412)
^{239}Pu	$^{238}U(n,\gamma)^{239}U(\beta^- \rightarrow)^{239}Np$ $(\beta^- \rightarrow)^{239}Pu$	$2.41x10^4$ y	α

(يستخلص ^{239}Pu من الوقود المستهلك في المفاعل النووي)

هذه الحالة يمتز المركب الذي يحتوي على الوالد - عادة في هيئة أنيونات المولبيدات MoO_4^{2-} - على سطح عمود من الألومنيا (Al_2O_3)،

ولـم يكـن حـال المعجـل الـدائرى بأحـسن حـال مـن المفاعـل لأن اسـلوب الادارو واحـد ، فـالمفروض أن هـذا المعجـل سـوف يمكننـا مـن إنتـاج النظـائر القاذفـة للبوزيترونـات وهـى الكربـون-١١ ، والنيتـروجين-١٣ ، والأكسجين-١٥ ، والفلـور-١٨. وجميعهـا تُـستخدم فـى مجـالات تـشخيص فـى الطـب النـووى باسـتخدام تقنيـة توموغرافيا قاذفات البوزيترونات (PET). كما يمكن بواسطة المعجل الدائرى إنتاج نظائر الجاليوم-٦٧ ويستخدم فى تحديد أماكن الأورام السرطانية ، واللانديوم-١١١ ويستخدم فـى ترقيم كرات الدم الحمراء ، واليود-١٢٣ ولـه استخدامات عديدة فـى الطب النووى.

وفى حديث لجريدة الأهرام بتاريخ ١٩٩٩/٨/١٨ قال المهندس/ ماهر أباظة – وزيـر الكهربـاء الأسـبق – أنـه يجرى حاليـاً الإعداد لتنفيذ مشروع طموح لإنتـاج دلالات الأورام التـى تعتمد علـى تقنيات نووية متوفرة بالتعاون مع الوكالة الدولية للطاقـة الذريـة ، وتستخدم هذه الدلالات فـى الكشف المبكر عن أمراض السرطان ومتابعة علاجها. وإنه من المتوقع أن يبدأ الإنتاج فى نفس العام خاصـة التـى تستخدم فى علاج سرطان الكبد والبروستاتا والرحم.

علاج الأورام بالإشعاع :

العلاج الإشعاعى مبنى علـى مقدرة الإشعاع الذرى علـى قتل الخلايا المريضة أو جعلها غير قادرة علـى التكاثر والانتشار فالورم السرطانى ينمو بسبب التكاثر غير المنضبط للخلايا السرطانية. والإشعاع من الوسائل الفعالة؛ حيث توجه حزمة الأشعة نحو الورم بصورة دقيقة لتشمل كتلته المعروفة مع التقليل ما أمكن من حجم الأنسجة الصحيحة المعرضـة للإشعاع ، ويجب أن يُتجنب تشعيع الأنسجة الحساسة – بصورة خاصـة – كالحبل الشوكى والعين. وقد وجد بالخبرة أن العلاج الذى يعطـى بجرعات إشعاعية صغيرة علـى فترات تصل الـى خمسة أيام فـى الأسبوع وتمتد من أربعة لـى ثمانية أسابيع هو الأكثر فعالية فـى قتل الخلايا السرطانية مع تقليل التلف للأنسجة الصحيحة ما أمكن. كذلك فقد طُورت أجهزة العلاج بالأشعة لزيـادة كفاءتها وقدرتها علـى علاج أنواع السرطانات العميقة ، ويوجد فـى معظم المراكز الكبيرة للعلاج الإشعاعى معجل خطـى ، ومثل هذه الأجهزة تولد أشعة لها القدرة على الوصول الى الورم السرطانى فى أعماق الجسم.

والمعجلات الخطية قللت من استخدام أجهزة الكوبالت نظراً لما لهذه المعجلات مـن مزايـا خاصـة بمعدل الجرعـة الإشـعاعية الكبيـرة وقـوة النفـاذ وعـدم الحاجـة للإسـتبدال الـدورى للمـصدر المـشع ، كمـا أن هنـاك مـشكلة الـتخلص مـن مـصادر الكوبالـت المغلقـة والمستهلكة ، وفـى مـصر حاليـاً ١٣ جهـاز كوبالـت فـى القـاهرة والاسكندرية وأسيوط وطنطا ويقابل ذلك خمسة أجهزة معجل خطـى ، ومن المنتظر أن يزيد عددها وذلك بعد التغلب على الصعوبات الفنية الخاصة بالتشغيل والصيانة.

ومفاعل مصر الثانى متعدد الأغراض وبه إمكانية إنتاج مصادر الكوبالت-٦٠ والذى يستخدم فى العلاج الإشعاعى عن طريق التعرض الخارجى أو فى صورة كبسولات للإدخال الميكانيكى فى الجسم ، كما فى حالة استخدام الأريديوم-١٩٢ على هيئة إبر أو أسلاك مغلفة بالكبسولات وهى منخفضة الثمن نسبياً. وقد قيل انه تم تصميم الجيل الأول من الماكينات الناقلة التى تحمل المصادر المشعة الجامية (الكوبالت-٦٠) بقدرة ٨٠٠٠ كورى) بالتعاون مع الهيئة القومية للإنتاج الحربى بمصر ، ويجرى حالياً تطوير الجيل الثانى من هذه الماكينات مما يوفر تكاليف استيراد المعدات المثيلة.

إمكانية أخرى تتوفر بالمفاعل البحثى الثانى متعدد الأغراض وهى العلاج الإشعاعى باستخدام النيوترونات حيث توجد غرفة ملحقة بالمفاعل متصل بها قناة إشعاع نيوترونى (مصدر المفاعل) لعلاج الأورام السرطانية حيث يحقن المريض بمركبات البورون التى تتركز فى خلايا المخ ثم يعرض المريض للنيوترونات التى يتم امتصاصها بواسطة البورون وتوليد جسيمات ألفا التى تدمر الخلايا السرطانية.

ومن الجدير بالذكر أن الإشعاع يحقق نجاحاً ملحوظاً فى المراحل الأولى للعديد من السرطانات مثل سرطان عنق الرحم – سرطان المخ – سرطان الرقبة – مرض هودكن (يصيب الغدد الليمفاوية) – سرطان العظام وسرطان الجلد ، أما فى المراحل المتقدمة للسرطان فيمكن للعلاج الإشعاعى أن يُسكن الألم.

استخدام النظائر المشعة فى التحاليل الطبية Radio - immuno - assay :

أو الطريقة الإشعاعية المناعية ، وتمتاز بحساسيتها الفائقة ، ولهذا تستخدم فى تحاليل الهرمونات والإنزيمات والفيتامينات وفيروسات التهاب الكبد وغيرها ، وفى هذه الطريقة تؤخذ عينة من مصل دم المريض أو أحد سوائل الجسم الأخرى وتضاف إليها النظائر المشعة المناسبة لفحص هرمون مثلاً وقياس تركيزه ومعرفة البروتين الرابط الذى قد يرافقه. وتمتاز هذه الطريقة بأنها لا تحتاج الى تعريض المريض للإشعاع. ولعل أوسع استعمال لهذه الطريقة هو فحص الهرمون الدرقى الثيروكسين والداى جيبتوكسين وهرمون النمو البشرى ، وفحص الدم لكشف فيروسات التهاب الكبد.

تزداد البحوث والاختبارات عمقاً وتنوعاً يوماً بعد يوم ، ويشير الاتجاه الحالى والمستقبلى للدول المتقدمة طبقاً لنشرات الوكالة الدولية للطاقة الذرية الى أن إنتاج النظائر المشعة الطبية سوف يتزايد ليس فقط بالطريقة التقليدية باستخدام المفاعلات النووية وإنما أيضاً بواسطة السيكلوترون لإنتاج نظائر مشعة ذات عمر قصير وأهمها الثاليوم-٢٠١ واليود-١٣١ واللانديوم-١١١ والكربتون-٨١ والاسترانشيوم-٨٧ والجاليوم-٦٧ والحديد-١٨. وقد ساهم توفر المستحضرات الصيدلية المشعة ذات الأعمار القصيرة مع تطور تقنيات الحاسب الآلى واستخدامها فى مجال الطب النووى على نطاق واسع فى تطوير طرق جديدة للإختبارات والكشف الإشعاعى

وخاصـة فـى مجـال أمـراض التـشوهات الخلقيـة فـى القلـب وأعـراض الـسرطان والقصور الوظيفى فى الأطفال حديثى الولادة.

والجـدير بالـذكر أن النويـدات المـشعة المستخدمة فـى تـصوير الأعـضاء عـادة تتحلل عن طريق الأسر الإلكترونى (EC) أو الانتقـال الأيـسومرى (IT) عن طريـق انبعاث شعاع جاما، وذلك بهدف تقليل تأثيرات الجرعة الإشعاعية على المريض لكن النظائر التى تشع الإلكترونات وجسيمات ألفا تزيد التـأثير الإشـعاعى علـى الأنـسجة. وعـادة تـرقم الأدويـة المـشعة بالنويـدات المـشعة مثـل ^{11}C، ^{18}F، ^{67}Ga، ^{99m}Tc، ^{111}In وبالنويدات المشعة المختلفة باليود والنحاس وتتراوح أعمـار النـصف للنويدات المشعة المستخدمة بـين دقـائق قليلـة وبـضع أيـام، لكـن عمـر النـصف للمقتفـى المـشع (Radiotracer) يجب أن يكـون طـويلاً بمـا يكفـى لعمـل الفحـوص اللازمـة لكن دون أن يحدث زيادة الجرعة الإشعاعية فى المريض ، كمـا يجـب أن يكـون المقتفـى المـشع فى صورة فيزيائية وكيميائية مناسبة للنظـام قيد الدراسـة، مثـال ذلـك: ^{51}Cr ($t_{1/2}$ = 27.7 d ; EC) يستخدم فـى التـشخيص لدراسـة حجـم الـدم ومتوسـط عمـر خلايـا الـدم الحمـراء و^{18}F ($t_{1/2}$ = 109.8 m ; 97 % β^+ & 3 % EC) يتنـاولـه المـريض عـن طريـق الفـم أو بـالحقن فـى إحـدى الأوردة فـى صـورة فلوريـد صـوديوم وذلـك بهـدف الفحـص الـدقيق للعظـام (Bone scans) و^{59}Fe ($t_{1/2}$ = 44.6 d ; β^-) يعطـى عـن طريـق الفـم أو الحقـن فـى الوريـد فـى صـورة كبريتـات حديـدوز بهـدف دراسـة أيـض الحديد.

وتـستخدم تقنيـة التـصوير الطبـى النـووى نظمـاً حـساسة للكـشف عـن الأشـعة المنبعثـة مـن الـدواء الـذى يتناولـه المـريض. وأهـو وسـائل التـصوير المـستخدمة فـى الطب النـووى كـاميرا الـوميض (Scintillation camera) والمعروفـة باسـم كـاميرا أوجيـه (Auger camera). وفـى تـصوير الغـدة الدرقيـة تـستخدم المقتفيـات ^{123}I أو ^{131}I نظـراً لأن اليـود عنـصر أساسـى لعمـل الغـدة الدرقيـة ويتـراكم بهـا ونظـراً لأن ^{123}I ($t_{1/2}$ = 13.0 h, EC) يتميز بخصائص إشعاعية جيدة تتيح سهولة التـصوير، لكنـه ينتج باستخدام معجل السيكلوترون ولذلك فثمنه مرتفع نسبياً بالإضـافة الـى أنـه قصير العمـر ، ولـذا يـصعب اسـتيداعه وبالنـسبة للنظيـر ^{131}I يتحلـل عـن طريـق انبعـاث β^- ويعطـى المـريض جرعـة إشـعاعية موضـعيه كبيـرة ويعتبـر مقتفـى غيـر جيـد لدراسـة تـصوير العظـام. لكـن النويـدات ^{99m}Tc أو ^{89}Sr مناسـبة لهـذا الغـرض. والواقـع أن النظـام ^{99m}Tc – ^{99}Mo يعتبـر أهـم الـنظم المـستخدمة فـى الطـب النـووى نظـراً لأن خصـائص ($t_{1/2}$ = 6.02 hr ; E_γ = 0.143 ^{99m}Tc MeV) مناسـبة تمامـاً لطـرق التشخيص الطبى ويمكـن بـسهولة الحـصول علـى ^{99m}Tc مـن تحلـل β^- للنويـدة ^{99}Mo ونحـصل علـى ^{99}Mo كنـاتج انشطـارى أو بالتنـشيط النيـوترونى لنـواة ^{98}Mo (نـسبة وجـود ^{98}Mo فـى الموليبـدينوم فـى الطبيعـة يـساوى % 24.13)، ثـم تعـالج النويـدة المشعة ^{99}Mo كيميائيا للحصول علـى الموليبـدات (MoO_4^{2-}) التـى تمتـز علـى عمـود مـن الألومنيـا. وتُخلـص النويـدة الوليـدة ^{99m}Tc (اللـبن) مـن علـى العمـود باسـتخدام محلول منظم مائى أو محلول ملحى وتكون فى صورة البيرتكينتـات ($^{99m}Tc_4^-$) حيث

التكينتيوم سباعى التكافؤ ويمكن تحويله فى مختبر المستشفى إلى الصورة الكيميائية اللازمة للتشخيص. ويتفاعل التكينتيوم المختزل رباعى التكافؤ مع الكثير من الكواشف المخلبية (Chelating agent) ، وتتيح الخصائص الإشعاعية للنويدة ^{99m}Tc قدرة جيدة للتصوير باستخدام كاميرا وميض جاما بالإضافة إلى إعطاء المريض جرعات إشعاعية منخفضة.

وهناك أيضاً تقنية فحص حديثة يستخدم فيها النويدات المشعة الباعثة للبوزيترونات تسمى الرسم السطح (أو الطبقى) للانبعاث البوزيترونى (Positron emission tomography, PET) يحصل من خلالها الاخصائى على تحجيم دقيق لتوزيع النشاط الإشعاعى فى الجسم، وذلك بملاحظة شعاعى جاما المتطابقين بطاقة 511 keV عند زاوية 180° بينهما، والتى تنتج عن إفناء البوزيترون، وهذا التحجيم لا يكون ممكنا باستخدام نويدة مشعة تعطى شعاع جاما مفرداً. ومعظم النويدات المشعة التى تستخدم فى هذه التقنية تنتج من سيكلوترون قرب موقع فحص المريض ومن تلك النويدات $^{64}Cu, ^{11}C, ^{18}F$. وهناك القليل من النويدات المشعة المستخدمة فى الرسم السطحى للانبعاث البوزوترونى (PET) يمكن الحصول عليها من مولدات النويدات المشعة مثال ذلك $^{62}Zn/^{62}Cu$ حيث يتحلل الوالد^{62}Zn بالأسر الإلكترونى (بنسبة 93%) وانبعاث و انبعاث β^+ (بنسبة7%) وعمر النصف 9.19h بينما يتحلل الوليدة ^{62}Cu فى غالبيته(98%) بانبعاث E_{max}=2.91 MeV β^+ وبعمر النصف 9.74m.

وقد استخدمت اللقاحات الإشعاعية على نطاق واسع فى الطب البيطرى ووقاية الماشية من عدة أمراض طفيلية مثل الإلتهاب الشعبى الديدانى الذى تسببه (الدودة السلكية) التى تصيب البقر ، والإلتهاب الشعبى الديدانى الذى تسبه (الدودة السلكية) التى تصيب الغنم ، وكذلك (الدودة الشعبية الكلبية). ولهذه اللقاحات إمكانية كبيرة للسيطرة على الأمراض المشار إليها فى عدد كبير من بلدان العالم ، ويمكن بسهولة الحصول على كميات كبيرة من الطفيليات فى طور الإصابة والتحصين (التمنيع) اللازم لإنتاج اللقاح ، كما يمكن تخزينها لمدة مقبولة. والعجول والحملان الملقحة بجرعتين من هذا اللقاح تقاوم التحدى الكبير حين تعرضها للعدوى الدائمة فى الظروف الحقلية.

وقد وجدت مؤخراً طريقة يُؤمل منها الحصول على لقاح ضد مرض البرداء (الملاريا) ، فقد طور لقاح وأنتجت منه كميات قليلة ، يجعل طفيليات الملاريا غير فعالة فى الطور الجرثومى ، وذلك بتعريض البعوض الحامل لطفيل الملاريا للإشعاع ثم السماح للبعوض الذى ينجو من الإشعاع بأن يلدغ متطوعين ناقلاً إليهم الجراثيم العاجزة – برغم عدم قدرتها على التكاثر – تحرض دفاعهم على توليد المناعة ، ولكن تبقى بعض العقبات والشكوك حول هذه التجارب مما يستدعى مزيداً من البحث قبل استعمالها.

تعقيم المنتجات الطبية بالإشعاع :

من المعروف أن الجرعات العالية من الإشعاع تقتل البكتريا ، ولذلك يستخدم الإشعاع وعلى مدى واسع فى تعقيم المنتجات والأجهزة الطبية ، فما استجد من الحقن البلاستيكية التى تستخدم لمرة واحدة ، وأجهزة نقل الدم – على سبيل المثال – قد أدى الى ثورة فى عمل التمريض ، فلقد قلل أعمال التنظيف اليومى ، وأنقص الى حد كبير حصول حوادث العدوى ، وهكذا فالأجهزة المعقدة ، كأجهزة "الرئة والقلب" الصناعية ووحدات تنظيف الدم لمرضى الكلى غالباً تعقم إشعاعياً قبل الاستعمال لأنها الطريقة الأفضل فى التعقيم.

وأشعة جاما تتميز بالقضاء على مسببات الأمراض مثل البكتريا والفيروسات والطفيليات الممرضة ، ويوجدفى مصر وحدة تشعيع جامى ضخمة بقدرة نصف مليون كورى (كوبالت-٦٠) بالمركز القومى لبحوث تكنولوجيا الإشعاع ، ويستخدم فى تعقيم العبوات الدوائية والأدوات الجراحية مثل المشارط والخيوط الجراحية والقفازات الطبية والأربطة والغيارات ومرشحات الكلى ومراهم العيون وأجهزة محاليل الدم والقسطرات وخامات تصنيع العديد من الأدوية.

والتعقيم بالأشعة المؤينة هى الطريقة الوحيدة ذات الكفاءة العالية للتعقيم غير الإتلافى للمواد التى تتأثر بالحرارة ، وتتميز بأنها أفضل بيئياً من الطرق الأخرى ، ويكفى هذا المصدر احتياجات مصر من التعقيم حالياً. وقد بلغ حجم المنتجات والمعدات الطبية التى تم تعقيمها فى العام الماضى فقط ٥ آلاف متر مكعب ، وسوف تزداد هذه الأرقام مع تزايد متطلبات الجودة وفعالية الرقابة الصحية على الشركات.

ويهدف العلاج بالأشعة (Radiotherapy) إلى تدمير الخلايا المريضة بالإشعاع. ويتوفر الآن تجاريا معجلات صغيرة للإلكترونات أو بيتاترونات (Betatrons) تعطى أشعة إلكترونية طاقتها تصل إلى 15 MeV وذلك لهدف التشعيع قرب سطح الجسم لعلاج المرض السرطان . وللوصول إلى عمق الجسم تستخدم أشعة جاما من مصادر ^{60}Co و ^{137}Cs. وأحيانا يستزرع المصدر المشع فى الأنسجة المريضة، وقد استخدمت طويلاً إبر الراديوم لهذا الغرض، كما تستخدم بذور الذهب المشع ^{198}Au والكوبالت ^{60}Co وتتميز هذه الطريقة بأنها تعطى جرعات إشعاعية أقل بكثير.

إن تقدم الأدوية المرقمة بالإشعاع يضع الكيميائى أمام تحديات أهمها:

(١) تطوير طرق التصنيع الكيميائى لتتيح فرصة الحصول على الجزيئات الحيوية المعقدة فى وقت قصير جداً.

(٢) تحضير مركبات نشطة حيوياً والمرقمة بالنويدات الفلزية المشعة.

(٣) تحضير المنتج النهائى فى هيئة مناسبة يتناوله الآدميون.

ومما سبق يتبين أهمية العديد من التطبيقات النووية وفائدتها الطبية المحققة ويجب تشجيعها وتركيزها فى وحدات متخصصة داخل المستشفيات الكبرى مع توفير العديد من الكوادر المؤهلة للعمل فى الإشعاعات المؤينة ، وطبقاً لشروط ومعايير الأمان للمرضى والجمهور والعاملين.

مقالات نووية (5)

استخدام تقنية التنشيط النيوتروني في دراسات و بحوث البيئة

المقدمـــة :

يمكن تعريف التحليل بالتنشيط النيوترونى ببساطة على انها طريقة تحليل كمية حيث يتم تعريض العينة لتيار من الجسيمات المؤينة ، عادة نيوترونات بطيئة فى حالة استخدام المفاعل او نيوترونات سريعة فى حالة إستخدام مولد النيوترونـــات. وفـــى هذه الحالة يتم تحويل النظير الثابت للعنصر تحت الدراسة الى نظيره النشط إشـــعاعياً والذى يمكن قياس نشاطه الإشعاعى باستخدام أجهزه العد المعروفة وباستخدام مـــادة مرجعية معلوم تركيز العناصر الثابتة بها يمكن قياس النشاط الإشعاعى المنبعث منهـــا ومقارنته بتلك العينات المجهولة المراد قياسها بطريقة النسبية.

ومن أهم مميزات طريقة التنشيط النيوترونى بالنيوترونات البطيئة هو قـــدرتها على قياس كميات متناهية فى الصغر للعناصر والتى قد تكون صـــغيرة جـــداً وتحـــت حدود القياس فى طرق التحليل الأخرى. ولهذا ففى حالة العينات صغيرة الحجم والتى تحتوى على تركيزات متناهية فى الصغر من العناصر يمكن إستخدام طريقة التنـــشيط النيوترونى فى التحليل بكفاءة. فعلى سبيل المثال تصل حدود الكشف لهذه الطريقـــة فى حالة النحاس او الأرسينيك إلى 10^{-4} نانوجرام أو أقل. كما يمكن قياس وتحليـــل محتوى شعيرة جذرية منفردة أو قياس ١-٢ مل من محلول التربة. كما أن الطريقة مناسبة أيضاً لقياس العديد من العناصر والتى يصعب قياســـها بـــالطرق الكيميائيـــة التقليدية.

وبعد العديد من الدراسات المقارنة فى أوائل القرن العشرين تم الإعلان عـــن إمكانية إستخدام التحليل بالتنشيط النيوترونى فى مجال العلوم الحيويـــة والزراعيـــة. وذادت كفاءة الطريقة لتطور التقنية اللازمة لها من مفاعلات وأجهزة قياس وكواشف فائقة الـــ **Resolution** وبالتالى أمكن تفادى الخطوات المملة والطويلة واللازمـــة لفصل العناصر من العينة كما كان متبع فى الدراسات الأولية.

وحديثاً تم تطوير طريقة التنشيط النيـــوتروني بالنيوترونـــات الـــسريعة بعـــد إستحداث مولدات النيوترونات ذات الأنابيب ١٤ ملى فولت مما أدى إلى تـــوفير فـــى الوقت والجهد ، وإتاحة فرصة التحليل غير المحطم للعينة فى وقت سريع.

وهناك مجال آخر جديد يمكن لتوظيف طريقة التنشيط النيوترونى فـــى قيـــاس دليل (عنصر غير نشط إشعاعياً) فى عينات بيولوجية أو بيئية حيث يمكن الإســـتفادة بهذا الأسلوب فى الدراسات التى لا يسمح بإضافة نظائر مشعة أو إستخدام مواد سامة مثلاً يستخدم البورون كدليل يمكن قياسه فى العينة بطريقة التنشيط النيـــوترونى فـــى دراسات إقتفاء أثر حركة الهواء أو تطاير حبوب لقاح النبات أو جراثيم الفطريـــات ، كما تم إستخدامه أيضاً فى دراسات إمتصاص وحركة الأيونات فى التربة. وتتميز هذه الطريقة بأن إضافة مثل هذا الدليل لا يمثل أى خطورة على الكائن الحى تحت الدراسة ، كما يمكن إستخدامه فى التجارب والدراسات فى الأماكن العامـــة ولا يكـــون هنـــاك خطورة من إستنشاق أو التعرض لموقع التجربة.

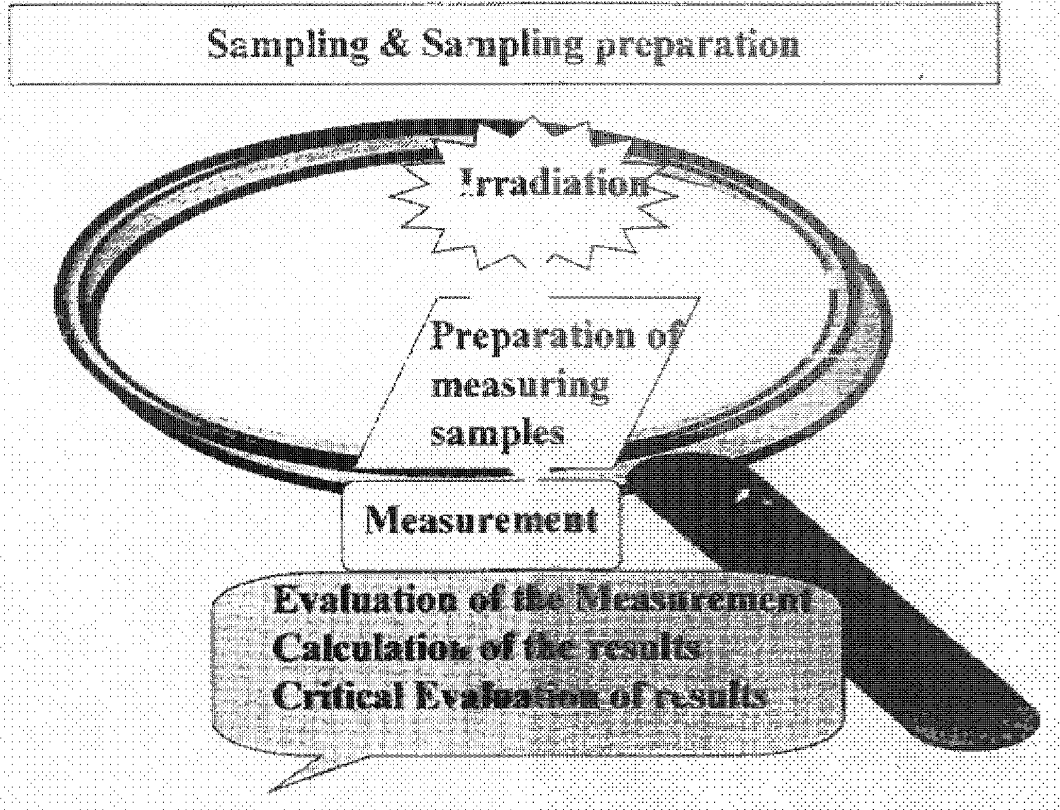
وتهتم هذه المقالة بإستخدام التقنيات النووية فى قياسات ودراسات تلوث البيئة ؛ وكما هو معروف يختار الباحث الطريقة المناسبة للتحليل طبقاً لظروف وملابسات العمل ، وبالطبع يلجأ إلى الطريقة التى توفر له أكبر قدر ممكن من الدقة لأكبر عدد من العناصر المتنوعة وعند تركيزات صغيرة جداً (مثلاً جزء فى المليون أو أقل) ، وإلى جانب ذلك هناك ميزة أخرى وهى عدم الإحتياج إلى معاملة العينات معاملة كيميائية قبل إتمام التحاليل (كما هو متبع فى طرق التحليل الكيميائى) ؛ ولهذا وجد أن التحليل بالتنشيط الإشعاعى بالنيوترونات INAA يوفر كل هذه المزايا للباحث فى مجالات كثيرة ومنها مجال البيئة والأراضى والمناخ والجيوكيمياء. وتعتبر طريقة NAA من الطرق الحساسة والدقيقة المستخدمة بنجاح فى تحليل أكثر من ٧٠ عنصر وهى تلائم التحليلات الدورية كما تستخدم لقياس وتقويم دقة العديد من طرق التحليل التقليدية الأخرى.

وفيما يلى سوف نورد بعضاً من تطبيقات وإستخدامات التشعيع النيوترونى فى مجال قياسات التربة والبيئة مع الإشارة لبعض البحوث المنشورة سواءً فى الخارج أو فى مصر.

فى طريقـة التحليل بالتنشيط النيوترونى تستخدم طريقـة المقارنـة بمعنى أنـه يمكن تشعيع محلول أو عينـة قياسية (معروفة التركيب والتركيز لعنصر ما أو أكثر) مع نفس العينـة المجهولة وتحت نفس الظروف وبهذا يمكن إعتبار كل العوامل ثابتة بين كل من العينـة القياسية والمجهولة ، وبالتالى يمكن إعتبار أن النسبة بين النشاط الإشعاعى لهما هى نفسها النسبة بين الكتلتين ومنـه نستنتج الكتلـة فى العينـتين كما فى المعادلة الآتيـة :

$$\frac{\text{كتلة العنصر فى عينـة التربة المجهولة}}{\text{كتلة العنصر فى العينـة القياسية}} = \frac{\text{مقدار النشاط الإشعاعى لعينة التربة}}{\text{مقدار النشاط الإشعاعى للعينة القياسية}}$$

وطريقـــة التنشيط النيوترونى يمكنها التمييز أو الكشـــف عن العناصر ليس فقط بالتمييز بين طاقات الأشعة المستحثة ولكن أيضاً عن طريق حساب معدل الإضمحـــلال الإشعاعى حيث يمكن ذلك بالتحديد الدقيق لكل من زمن التشعيع وزمن الإنحلال مما يمكن من تحديد العناصر وتقديرها بدقـــة ؛ ولكى يتـــم ذلك بدرجـــة عاليـــة من الكفاءة فى عينـــة تحتوى على عدد كبير من العناصر المختلفة فإنـــه يلزم برنامج حاســـب آلى مناســـب يربط مابين التوزيع الجامى للعناصر المشعة المختلفة والمقاسة تحت ظروف ثابتة ؛ وتوجد عدة برامج من هذا النوع يمكن الإستفادة بها فى عمليات تحليل النتائج المختلفة ؛ وهناك فرض شائع هو أن فترة الإنحـــلال التى تساوى فترة نصف العمر سوف تحسن من قياس النبضة الناتجة من نظير معين وكلما كان زمن التقدير معقولاً ومستمراً لفترة أطول أمكن قياس وتقدير وكشف عدد أكبر من النظائر فى العينة الواحدة.



تخطيط لطريقة التحليل بالتنشيط النيوتروني

تفاصيل عملية التحليل :

١-   جمع وتجهيز العينات :

لتطبيق وإستخدام التقنية فى تقدير العناصر فى التربة يلزم إتباع أسلوب خاص فى جمع وتجهيز العينة ، وبالرغم من أن معظم عينات التربة تخذ بواسطة بريمة التربة أو مجراف التربة إلا أنه يجب أن تكون الأداة المستخدمة كمثبار للتربة ذات مساحة مقطع معلوم حتى يمكن إستخدامها فى قياسات البيئة مثل مدخلات لمركبات معينة أو عناصر معينة من الغلاف الجوى إلى الأرض مثال ذلك التساقط الذرى حيث من المرغوب فيه معرفة معدلات التساقط أو الترسيب على وحدة المساحة.

وتستخدم أنواع عديدة من مثبرات التربة ويفضل أن يكون مثبار التربة الإسطوانى من الصلب أو من البولى إثيلين وذلك لتفادى تلوث العينة بأى معادن من المسبار المستخدم ؛ وفى تحليلات التربة العادية يستخدم ١٠٠ جم تربة جافة هوائياً (التى سبق نخلها فى منخل ٢مم) ، ولكن فى حالة تقنية التنشيط الإشعاعى نحتاج عينات صغيرة الحجم من ٥٠ إلى ٢٠٠ مليجرام بحيث تكون عينة متماثلة ومتجانسة ويجب أن يتراوح قطر جزيئاتها ما بين ٣٠٠-٥٠٠ ميكرومتر ، وهذا الأمر فى غاية الأهمية حيث ثبت من تحليل بعض المواد القياسية (معلومة التركيز) أن إختلاف نسب أقطار الجزئيات تؤثر على تجانس العينة وبالتالى على النتائج المتحصل عليها ؛ وهناك العديد من المراجع التى تشرح كيفية إعداد وطحن ونخل العينة ولكنها لاتعطى تفاصيل كاملة عن تحضير العينة

وإعـدادها قبل التنشيط النيوتروني ؛ إلا أنه من المهم جداً تجنب تلوث العينـة أثنـاء الطحن سـواء بمعـدن أداة الطحن أو تلوث مابين العينـات، ولذلك ينصح بإستخدام أجهـزة الطحن التي تستخدم كور طحن من العقيق أو الصلب أو طواحين من الصلب. وأوضحت النتائج أن ١٥ جم تربـة جافـة (أصـغر من ٢ مم) يمكـن طحنـه طحنـاً دقيقاً إلـى جزئيات ناعمـة أقطارها أقل من ٢٠٠ ميكرومتر بواسطة دوران كور العقيق في المطاحن الإسطوانية ذات السعة ٥٠ سم٣ في ٢٠ دقيقة فقط ؛ وعمليـة طحن وتجانس التربة موضوع في غاية الأهميـة لأنـه يؤثر على النتائج المتحصل عليها، فمثلاً تركيز العناصر النادرة في التربـة يتوقف على حجم جزئيات التربة المنخولة (كما نعلم حبيبات الطين الناعمة تحتوي على أغلـب العناصر المطلـوب تحليلهـا) ، وهـذا الموضـوع مخصـص لـه أبـواب فـي مراجـع التحليلات المعمليـة.

أما عن تعبئة العينة وإعدادها للتشعيع فإنه ينصح بإستخدام أنابيب من السليكا النقية ؛ ويجب أن تكون الأنابيب المستخدمة مغسولة بالحامض والماء المقطر لضمان نقاءها وعـد إحتواءها على عناصر قد تؤثر في التحليلات المطلوبة ؛ كما يجب الإعتنـاء بإحكام غلق الأنبوبـة لمنـع فقـد أو تـسرب العينـــة أثنـاء أو بـعـد التشعيع ؛ كمـا أقتـرح إسـتخدام زجاجات من البـولي إثيلين وخاصـة فـي أغراض التشعيع قصير الأجل ؛ أمـا فـي حالـة الرغبة في تشعيع عينات ماء (مياه صرف صحي أو صناعي أومستخلص التربـة....الخ عينـة سائل) ، يجري جمع عينات المياه من المصارف أو المجاري أو من الأراضـي في اوعيـة مـن البـوليثين التـي سـبق غـسلها بحمـض نيتريـك حتـي يتـشبع الجـدران بأيونـات الهيدروجين.

ويجب أيضا أن تحمض المياه بنفس الحمض بحيث يصبح الرقم الهيدروجيني لهـا اقل من (١) حتى لا تدمص العناصر في العينة علي الجدار، ويجب أن تكون عينـة المياه خالية من المواد الغير ذائبة (العوالق) فإذا كانت تحتوي علي مواد عالقة فيجب الترشيح أو يمكن فصلها باستخدام الطرد المركزي، وإذا أريـد تقدير محتوياتهـا فيمكن تجفيـف هـذه الرواسب ووزنـها ثم تحليلها.

تؤخذ عينـة المياه الخالية من العوالق والمواد الغير ذائبة ويجري لها عملية تجفيف علي ورقة ترشيح وهي أبسط الطرق أو إجراء عملية تركيز مسبق **preconcentration** عن طريق عمل التجفيف بالتجميد **freeze drying** ، وهي غير مناسبة لبعض العناصر المتطايرة مثل اليود والزئبق، أو باستخدام طريقـة التبـادل الأيـوني **ion exchange** ويتم أجراؤها بأنواع مختلفة من **Resin** كذلك يمكن استخدام طريقة الاستخلاص بالامتصاص **Sorption/Scavenging**، ويستعمل فيهـا الكربـون النـشط لامتـصاص وامتـزاز بعـض العناصر مثل الكوبالت-الزنك-الكروم-النحاس وهنـاك تقنيـة أخـري تعـرف بطريقـة **Co-precipitation** ، ويـتم فيهـا ترسيب ال **radionuclide** فـي عينـة مـاء البحـر أو ميـاه الصرف الصناعي أو المجري المـائي حيث يتم ترسيبها باستخدام أمـلاح $Fe(OH)_3$ أو الالومنيوم وغيرها.

وهناك أيضا العديد من الطرق الأخرى:

- الفصل الكروماتوجرافي Liquid Chromatography
- التطاير Volatilization
- الطفو Flotation
- الترسيب الكهربائي Electrical Deposition
- الاستخلاص بالمذيبات Solvent extract

أما عند تعبئة العينة فيفضل استخدام كبسولات من السليكا جل النظيفة المغسولة بعامل مؤكسد قوي ثم بماء صنبور ثم بماء مقطر، ثم يوضع حجم معلوم من سائل العينة في الكبسولة مع مراعاة ترك مسافة فارغة فى الأنبوبة مساوية على الأقل لنصف حجم العينة ؛ بعد ذلك يتم قفل الكبسولة باستخدام اللهب، ويجب ألا تحتوى العينة على مادة متفجرة مثل حمض النيتريك مثلاً.

٢- تشعيع العينات :

إن معظم عمليات التشعيع النيوترونى لعينات التربة تم فيها إستخدام المفاعل كمصدر للنيوترونات وهذا ليس لغزارة الفيض النيوترونى الناتج منه والذى يصل ١٠^{١٤} نيوترون لكل سم^{٢} / ثانية والذى يرفع من حساسية الطريقة وإنما أيضاً لإنتظام عملية التشعيع نظراً لتجانس الشعاع النيوترونى الناتج من المفاعل.

والدراسات الجارية حالياً فى مراكز البحوث النووية تعمل على توفير مصادر أخرى للتشعيع بخلاف المفاعلات وذلك لتوفير مصادر أخرى عالية الشدة من فيض النيوترونات الحرارية ؛ وأصبح من الممكن إستخدام مصادر للنيوترونات غير المفاعلات مثل مصدر الكاليفورنيوم^{٢٥٢} (Cf^{252}) والذى أصبح متاحاً حالياً ويعطى فيضاً قدره ١٠^{٧} نيوترون / سم٢ / ثانية من النيوترونات الحرارية (فيض النيوترون يتوقف على كمية الكاليفورنيوم والمواصفات الخاصة بالتصنيع) ؛ وهناك مصدر آخر بديل وهو المولد النيوترونى Neutron Generator وفيه تتم إثارة الترتيوم بواسطة الديوتيريم وناتج التفاعل $^{3}H(d,n)_{2}^{4}He$ والذى ينتج عنه فيضاً يصل إلى ١٠^{١٠} نيوترون لكل سم^{٢} / ثانية ؛ ولكن الشعاع النيوترونى الناتج من هذا المصدر يكون غير متجانس ، ولهذا فإن هذا المصدر يصلح فى حالة التفاعلات النووية مع العناصر ذات العدد الذرى المنخفض ولايجب إستخدام هذا المصدر فى حالة تحليل العناصر صغيرة التركيز.

والشدة النسبية لكل من النيوترونات الحرارية وفوق الحرارية تتغير كثيراً وتعتمد على نوع المصدر المولد للنيوترونات ؛ وعموماً فإنه من المفيد أن يكون المصدر الخاص بالنيوترونات ذا طاقة منخفضة كلما أمكن ذلك ؛ لأن إحتمال حدوث التفاعل (δ ، η) يكون أكبر فى النيوترونات ذات الطاقة المنخفضة مما يزيد من حساسية الطريقة ولأن زيادة الطاقة تزيد من إحتمال حدوث تفاعلات أخرى مثل (α ، η) ، (p ، η) ، (η2 ، η) وهذا يذيد من التداخل فى تقدير عنصر ما نتيجة زيادة النشاط الإشعاعى بواسطة تفاعل نيوترونى آخر لعنصر آخر.

وهنــاك عامـل آخـر جـدير بالإعتبــار ألا وهــو طـول فتـرة التـشعيع (الـزمن المستغرق) وبالتالى زمن الإنحلال قبل القياس (أو مايسمى بزمن التبريد).

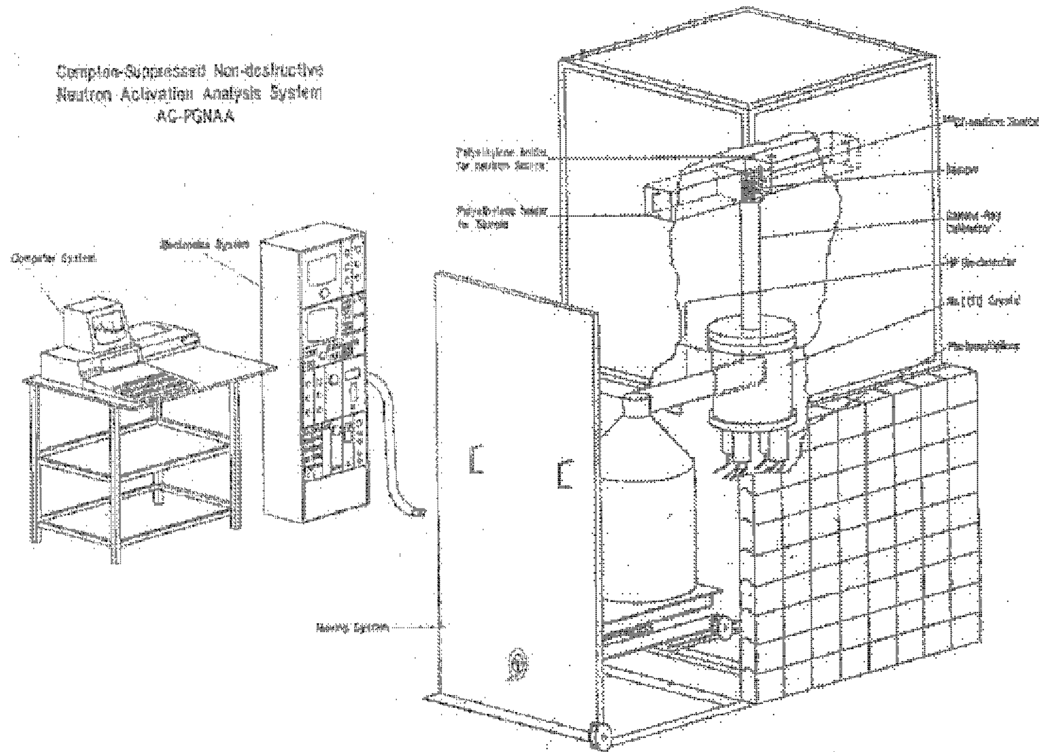
و لكـي نحصل علـى أكبر تنشيط مستحث يجب أن يكون زمن التشعيع عـدة مضاعفات لفترة نصف العمر ؛ وعموماً فإن التحكم فى الإشعاع الكلى الناتج من العينة (والمستحث من عملية التشعيع) يتم بالإختيار الأمثل لوزن العينـة ، وبفيض النيترونات المستخدم بينما زمن التشعيع يجب أن يكون قصيراً ومتناسباً مع فترة نصف العمر (للعنصر المراد تحليله) ، أيضاً فترة الإنحلال الإشعاعى يجب أن تختار بعناية بحيث يكون لها تأثير إيجابى على القوة النسبية للنبضات الناتجة لأن القياسات لاتتم بمعزل عن باقى العناصر الموجودة ؛ ويمكن الإستعانة بتنسيق هذه العناصر وإختيار الأزمة المختلفة للتشعيع أو التبريد أو القياس بإستخدام برامج حاسب عن طريق التوزيع لشعاع جامى قياسى فى عينة قياسية من تربة معروف تركيز العناصر المختلفة بها وبالتالى يمكن إستنتاج تركيز العناصر محل الإهتمام فى العينة تحت الإختبار.

وعـادةً مـا يستخدم أسلوب التشعيع النيوترونى فى التحليل المتعدد للعناصر Multi-Element Analysis وفى حالات تصل إلى ٣٠-٤٠ عنصر ، وبالطبع مع هذا العدد الكبير للعناصر التى يتم تحليلها لحظياً لايمكن أن تكون ظروف التحليل مثالية لكل العناصر ، ولابد أن يكون هناك نوعاً من التفاضلية بينهم طبقاً لأهمية كل منهم ؛ ويجب الأخذ فى الإعتبار أن جميع العينات يجب أن تشعع بإنتظام بواسطة شعاع متجانس من النيوترونات لاتسبب العينة إضمحلالاً له ، وهذا يحدث بالطبع فى حالة العينات صغيرة الحجم حيث أن عامل الإضمحلال أو مساحة مقطع الأسر يكون صغيراً.

ويجب الانتباه إلى أن كل من إناء التشعيع أو أى مواد قريبة من العينة فى المفاعل يمكن أن تكون لها مساحة مقطع (إحتمالية) كبيرة لإنتاج نيوترونات أو يمكن أن تغير من فيض شعاع النيوترونات المستخدم ، وعادة مايتم تشعيع عدد من العينات القياسية لمختلف العناصر المراد تحليلها مع العينات المجهولة ؛ وبالطبع فإنه من الصعوبة بمكان تشعيع عدد كبير منهما فى نفس الوقت للمحافظة على تماثل الظروف العملية ؛ ولهذا فقد إتفق على تقسيم العينات القياسية إلى مجموعات يتم تشعيعها مع العينات المجهولة.

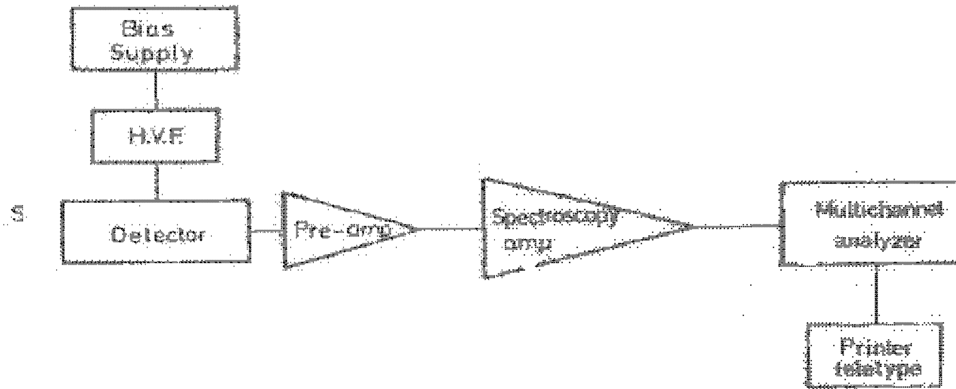
ومما سبق تتبدى أهمية عامل الوقت ومدى فيض النيوترونات من المصدر المستخدم وزمن التشعيع نفسه الذى ربما يصل فى بعض الأحيان إلى أسابيع حيث يلزم التأكد من أنه خلال تلك الفترة لن يتغير مقدار الفيض النيوترونى لكى تتماثل ظروف التشعيع تماماً ، وكما سبق قوله يتم وضع عينة أو إثنين قياسيتين مع العينات المجهولة كى تعمل ككاشف تغير يحدث فى الفيض النيوترونى لأخذه فى الإعتبار ؛ وعند تحضير عينات قياسية من كيماويات نقية فإنه يجب تحضيرها من تركيزات تقارب تلك المراد قياسها وبعد ذلك وضعها فى أنابيب صغيرة من السليكات أو من مواد غير نشطة حفاظاً على دقة النتائج.

صورة لجهاز القياس بالتنشيط النيتروني الفوري باستخدام الكاليفورنيوم^{٢٥٢}



قيـاس النشـاط الإشـعاعى :

قياس الطيف الجامى يتم عادة بإستخدام كاشف يتم عزله تماماً عن كل مايحيط به حيث لايتعامل إلا مع الشعاع الجامى المراد قياسه والخارج من العينـة محل التحليـل ، ويجب تحديد مكان الكاشف بالنسبة للعينة التى غالباً مايتم وضعها فى وضع هندسى معين متماثل بالنسبة للكاشف يحقق كل هذه الإعتبارات ؛ ولابـد من القياس الـدورى للخلفية الإشعاعية Background لملاحظة أى تغيير فيه لإرتبـاط ذلـك بالكميـات المقاسة ؛ وعـادة مايستخدم الرصاص المبطن بطبقـات مـن الكـادميوم والنحـاس والألمنيوم لإمتصاص الأشعة السينية الناتجة من الرصاص العوازل الأخـرى والتـى تتعرض للتشعيع أثناء العمـل ؛ وعنـد أخذ كل هذه الإعتبارات موضع الإهتمام يكون لدينا فى النهاية مجموعة من القياسات المسجلة لطيف الجاما المستحث من العينة فـى زمن معقول نسبياً مع الحرص بأنه فى حالة العمل لفترة طويلة فإن جهـاز التكبير فى الكاشف (الخاص بالنبضة الكهربية) يحدث بعض التشوه لها ؛ كذلك إذا كان المصدر ذا قوة إشعاع كبيرة بحيث أن العينة ستكون على بـعـد معين كبير نسبياً منـه فـسوف تنتج هذا بعض التأثيرات نتيجة التشتت خلال هذه المسافة وهذه التأثيرات غير مرغوب فيها لأنها تؤثر على إستمرارية الطيف الجامى بشكل سليم ومنتظم.



صورة لأساسيات جهاز قياس النشاط إلجامي متعدد القنوات

ولا ننسى أن العينة يجب مهما تغيرت أن تكون هندسياً فى نفس الوضـع مـن المصدر بمعنى أن الزاوية المجسمة للعينة (وهذا يشمل حجم العينة وبعدها عن المصدر وخلافه) يجب أن تكون ثابتة لكل العينات فى كل الأوقات وأن هـذا العامل من أهـم العوامل المحددة لكفاءة القياس ؛ ولهذا يجب أن تظل عوامل نظام الكشف والقياس ككل ثابتة وبدون تغيير فى حالة قياس كل من العينة المجهولة والعينة القياسـية ؛ وكـذلك جهاز الكاشف لابد أن يعمل عند درجة حرارة ثابتة وهذا عادة مايتم بإستخدام كاشـف الحالة الصلبة وتبريده بسائل النتروجين وعدم إهتزاز النظام أثناء التشغيل ؛ بـعـد ذلك يتم تحويل النبضات الكهربية الناتجة إلى أعـداد رقميـة وهـذه يتـم تخزينها فى جهـاز محلل النبضات كلاً طبقاً لمكانه فى قناة معينة أو عـدة قنوات تخصص لكـل

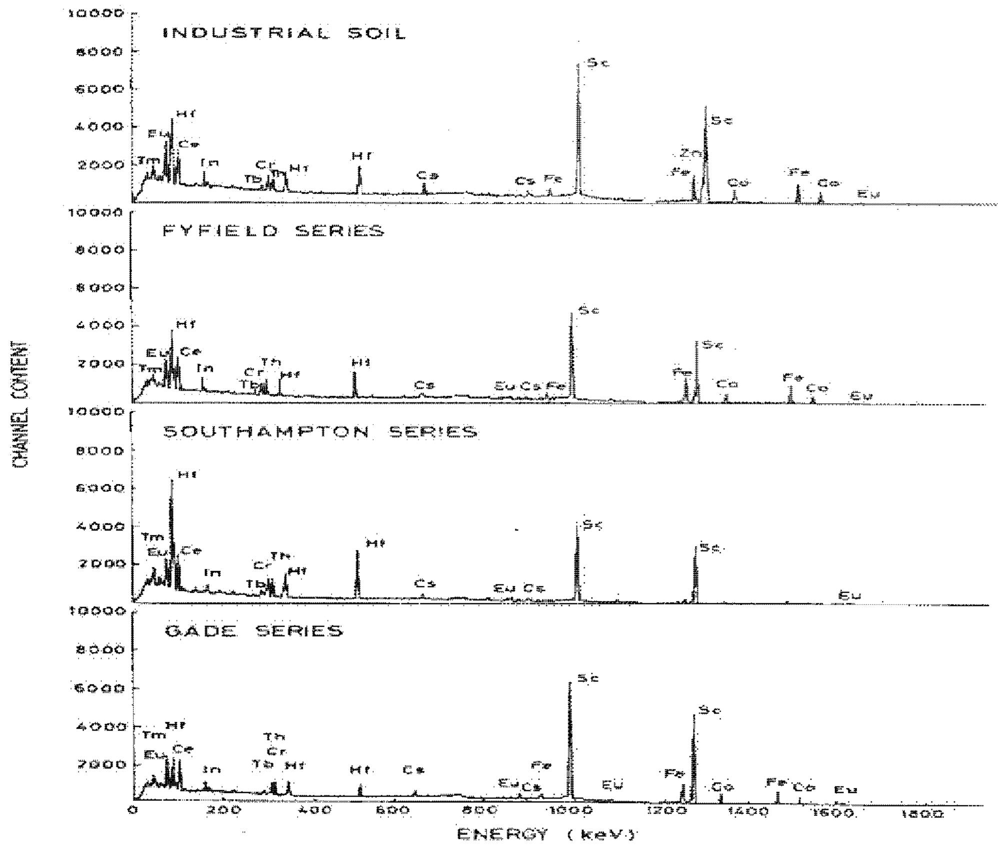
طاقة حيث يتم التخزين فى ذاكرة محلل متعـــدد القنـــوات أو الحاســـب ؛ ويـــلزم وقت مناســـب كى يمكن تجميع بيانات يمكن الإعتمـــاد عليها إحصائياً ، ولزيادة الدقة يمكن إستخدام برامج جاهزة يمكن تخزينها مسبقاً فى الحاسب لتسهيل العمليـــات الحـــسابية والإحصائية.

وتوجد الآن حاسبات صغيرة يمكن عن طريقها التحكم فى كل العوامل فى نفـــس الوقت بالنسبة لمختلف أنواع الكواشف ولمختلف أنواع الكواشـــف ولمختلـــف أنـــواع التطبيقات والتحاليل المطلوب إجراءها ، ويمكن تخزين قياسات مدى كبير من الطاقـــة لعـــدد كبير من القنوات على شرائط ورقية أو مغناطيســـية أو على الأقراص المرنة ، ويمكن عمل إتصال بين وحـــدة التشعيع ذات السعة الصغيرة نسبياً وحاسب مركـــزى يمكنه عمل المزيد من البرامج وتبادل المعلومات وعمل إتصالات مع مراكز بحثيـــــة أخرى.

معالجة وتفسير الطيف الجامى :

نحن نريد – فى الأصـــل– معلومات عن العنصر محل الإهتمام فى العينـــة ، إذن لابـــد من قراءة هذه المعلومات من خلال رسم بيانى يعرف بالطيف الجامى غالباً مايعبر عن العلاقة بين الطاقة ورقم القناة Channel Number أو الطاقة وعدد (N) يعطى دلالة على إحتمال أو كثافة وجود هذه الطاقة ؛ فى الماضى كانت تتم معالجة هذه البيانات يدوياً ولكن حالياً يقوم الحاسب الشخصى بعمليات كثيرة كانت تستهلك الكثيـــر من الوقت والمجهود ؛ ويمكن إستنتاج القيم الخاصة بطاقة كل نبضة تظهر فى الرســـم بإستخدام طريقة معايرة مناسبة.

وطريقة التحليل النوعي تتم بالتعرف على الطاقة الخاصة بالنبـــضة وشـــدتها النسبية مع الأخذ فى الإعتبـــار الخلفيـــة الإشـــعاعيـــة الموجـــودة Background.



صورة للطيف الجامي حسب طاقة كل عنصر في عينات تربة مختلفة

أهم مميزات طريقة التنشيط الإشعاعي :

- تعتبـــر طريقة اقتصادية عند الحاجة لتحليل عديد مـــن العناصـــر للعينـــة الواحدة ومناسبة جداً لعمليات ميكنة ومعالجة البيانات Automation and data processing.
- حساسية الطريقة عالية جداً للعديد من العناصر المهمة فى دراسات تغذيـــة النبات والحيوان وفى دراسات السُـــمية المتعلقـــة بالبيئـــة.
- تجنب تلوث العينات بالعناصر النادرة نتيجة اســـتخدام المـــواد الكيميائيـــة والطرق الكيميائية لتحضير العينة كما هو متبع فى طرق التحليل التقليديـــة الأخرى ، كما يمكن تجنب تحلل و اضمحلال بعض العناصر والمراد معرفة كميتها الكلية دون فقـــد.
- يتـــم التعامـــل مع نـــواة العنصر مباشـــرةً وليس مع إلكترونات التفاعل في المدارات الخارجية لذرة العناصر كما هو متبع في طرق التحليل الطيفـــي (الامتصاص الذرى والانبعاث الذرى والانبعاث الفلورونسى) وهى الأكثـــر استخداما في التحاليل الكيميائية ، وبالتالي يمكن تجنـــب مـــشاكل التـــداخل Interference ويمكن إيجازها في الآتي :

١. التـــداخــل من مــادة الترابــط Matrix interference.
٢. التـــداخــل الكيميائي Chemical interference.
٣. التـــداخل الناتج من التأين Ionization interference.
٤. التداخــل الطيفي Spectral interference.

وبالرغم من المميزات العــديدة لطريقة INNA فإنــه يجب علينــا أن نــذكر عيوبها والتى يمكن إيجــازهــا فى التــالى :

١. تقتضى طبيعــة واقتصاديات تشعيع العينة أن لايزيد وزنها عن جرامات قليلة ويفضل الأقل ، ومن هذا تظهر مشكلة إختيار العينة الممثلة للتحليل خاصة عند التعامل مع مادة غير متجانسة مثل عينات البيئة من تربة أو رواسب والعينات البيولوجية.
٢. للحصول على مدى واسع من العناصر المراد تحليلها يجب أن يكــون مصدر التشعيع مفاعل نووى وهذا غير متوافر بالقدر المناسب أو الكافى ؛ كما تظهر مشكلة عدم تيســر وسائل تشعيع مناسبة للعناصر ذات فترة نصف عمــر تمتــد ثــوان أو ساعات.
٣. الحاجة للعديد من التقنيات المتقدمة الغالية لأن تحضير العينات القياسية يصاحبها غالباً بعض العوامل التى تؤثر على النتيجة ، وكــذلك هنــاك تأثير سلبى لعدم إنتظام الفيض النيوترونى وإختلاف الأوضاع الهندسية بين الشعاع والعينة ؛ كل هــذا يحتاج إلى تقنيــات ذا تــصميم جيـــد وثابت وقابلــة للتــكرتر للحصول على نتائج دقيقــة.

استخدامات INNA فى تحليــل العناصر الكليــة فى التربــة :

فى العشــرين ســنة الأخيرة تمــت العـــديد مــن الدراســـأت الأساســية بإســتخدام التشــعيع النيوترونى لعــدد من أنواع التربــة المختلفــة ودراســة نشــاط جاما المستحث منها ولكن هذه الدراسات ركزت على تقديم تفاصيل عمليــة التــشعيع والأجهزة المستخدمة وتحليل طيف جاما ولم تقدم معلومات كافية عن تطبيقــات هــذه القنيــة فى مختلف مجالات البحوث ؛ ومع تطورات الكواشف وظهور الجرمــانيوم– ليثيوم قــدم Salmon and Creevy عام ١٩٧١ نظام كمبيوتر للتعامل مــع عينــات الهواء والماء والتربة والتى تم تعريضها للتنشيط النيوترونى ، حيث أمكن تحليل طيف جاما الناتج بإستخدام كاشف NaI(Ti) لكشف النظائر قصيرة العمر وإستخدام الكاشف Ge(Li) للكشف عن النظائر طويلة العمر ، وقــد أشار الباحثون إلى مشكلة عـــدم مرونة جهاز محلل إرتفاع النبضات فى تجميع البيانات من عــدة كواشف خاصة عند الحاجة للتعامل مع عدد كبير من العينات متباينة الأصل وتحليل عناصر متعددة فيها ، وقــد إقترحوا إدخال نظام تحليل بالحاسب الآلي. وقــام Kerr الإنجليزي فــى عــام ١٩٨٧ بإستخدام التشعيع بالنيوترون الحرارى ثم تحليل الطيــف الجــامى بإســتخدام Ge(Li) وأظهر بيانات كمية لأكثر من ١١ عنصر مثل Al, Ba, Br, Ca, Cl, K, V, Ti, Mg, Mn, Na ، وبإســتخدام كاشف الفوتون منخفض الطاقة تــم الحصول على نتائج لعناصر Co, Dy, Eu, Sm, Th, U كما أوضح أن وضع رقــائق مــن

الكادميوم حول العينات فى مركز التشعيع وإستخدام إسلوب التشعيع الدورى (٣٠ دورة تشعيع عبارة عن ٥ ثوانى تشعيع ثم ٥ ثوانى عـد) كان مفيـداً فى تقدير كـلاً مـن السكانديوم والسلينيوم والهافنيوم ولكن ظهر أن هذه الطريقة تتأثر جـداً بتـداخل ^{28}Al الناتج من أسـر النيوترونات من النظـائر الأخـرى.

وفي مصر أوضحت سند (١٩٧٣) أنة باستخدام نيترونات فوق حراريـة فـي التنشيط النيتروني مع استخدام مرشح من الكادميوم أمكن التعرف علـي أحـد عـشر عنصر مثل Sc, Fe, Co, Sb, Cs, Eu, Tb, Ta, Th,Ba, وأمكن تقديرها بنجـاح تام.

كما قام زغلول وآخرون (١٩٨٧) بدراسة ١٤ عينة طين مفصول من اراضي جيرية ورسوبية وصحراوية باستخدام طريقة التنشيط النيتروني وتم تحليـل التركيـب المعدني بتحليل طيف جاما الناتج بعد تشعيع العينات بنيترونات المفاعل، وتم تقدير أكثر من ١٧ عنصرا كميا وقد أوضحت النتائج أن عناصـر As, Cs, Hf, Sp, Sc, Th, Sm, U وجدت تقريبا ثابتة بالرغم من اختلاف المنطقة أو العمق المأخوذة منة العينة علي عكس عناصر أخري مثل Cr, Ce, Li والتي كان لها مدي اختلافات أوسع وأشار الباحثون ألي الاختلاف في مستويات العناصر في عينات الطين مرجعة إلي العديد من العوامل منها مادة الأصل وما تحمله من معادن كذلك ظروف تكـوين تواجـد هـذه الرواسب.

تقدير كمية العناصر النادرة في مستخلص التربة

دراسات قياس العناصر النادرة في مستخلصات التربة بواسطة طريقة التنشيط النيتروني تعتبر قليلة نسبيا بالمقارنة بكمية الدراسات المنشورة عن تقـدير العناصـر الكلية في التربة، هذا بالرغم من أن الجزء من العنصر المتبادل أو الذائب في محلـول التربة يشكل الجزء الميسر للنبات، والذي يهم القائمين علي الزراعـة لأهميـة ذلـك للنباتات النامية وحاجتها للعناصر ألكبري والـصغرى، والتـي تمـده بهـا التربـة، ولاستخلاص الجزء الميسر للنبات (في التربة) من العنـصر اقترحـت العديـد مـن المركبات لمحاكاة الكيفية التي يستخلص بها النبات هذه العناصر. ومن هـذه الطـرق الاستخلاص بواسطة حمض ألخليك ولمدة ساعتين (Mitchell,1971) وكذلك استخدام محاليل كلوريد البوتاسيوم وخلات الامونيوم وحديثا المركبات المخلبية مثل DTPA, EDTA والتي ينصح باستخدامها في حالة الأراضي ذات المستويات المنخفضة من العناصر النادرة، من كل هذه المستخلصات ينصح باستخدام خلات الامونيوم في طريقة التنشيط النيتروني لتلافي أية تدخلات من مكونات محلول الاستخلاص مـع عناصـر التربة المراد تحليلها مثل الصوديوم والكلوريد والكبريت..الخ ويتم تشعيع ٠,١-٠,٥ مل من المستخلص ويتم تقدير الطيف ألجامي لكل عنصر كما سبق توضيحه.

في تغذيـــة الحيـــوان والنبـــات :

نوقش تقدير العناصر الأساسية (الكبرى والصغرى) بواسطة طريقة INAA فى بحوث علوم الحياة بتوســع بواسطة Bowen عام ١٩٦٧ وأصبح من المعترف به أن هذه الطريقة مناسبة عند الحاجة لمعرفة العديد من مستويات العناصر المختلفـــة فـــى العينات النباتية أو الحيوانية ؛ كما بين Rahman عام ١٩٧٢ أهمية طريقة INAA فى تقدير العناصر المغذية الصغرى فى البحوث المهتمة بعلاقات الأرض والنبـــات ؛ قـــدم Johansen and Steimes عام ١٩٧٢ دراسة عن إستخلاص INAA على عينـــات أرضية والمادة الجافة للنبات والتى تركت بعد التشعيع لمدة ٤ أسابيع قبل قيـــاس ^{60}Co بإستخدام كاشف Na(Ti) ؛ وكان معدل الإنحراف القياسى لبيانات عينات التربة حوالى ٧,٢% بينما كانت للنبات ٦% (على أساس مكررات مزدوجة لـــ ١٤ عينة لكل نوع) ، وقـــد أشـــار الباحثون أنه إذا كانت ليس هناك حاجة ملحة لـــسرعة تحليـــل العينـــات ويمكن تبريد العينات لفترات فإن هذه الطريقة تناسب الذين يحتاجون بتحليل أعداد كبيرة من العينـــات المختلفـــة وبـــدقـــة عـــاليـــة.

وفى مصر قام عوض الله وآخرون (١٩٨٦) بتقدير عناصر Al, Br, Ca, Ce, Co, Mg, Mn, Na, Rb, Se, Sb, Cr, Cs, Eu, Fe, K, La, Zn بواســـطة INAA ومقارنتها بطريقة الإمتصاص الطيفى الذرى (ICP and Flameless AAS) لعينات الباذنجان والبطاطس والفلفل الأخضر والتفاح والخس وكذلك لعينات تربة مـــن محافظة أســـــوان.

ومن أهم الموضوعات فى مجال تغذية النبات والحيوان موضـــوع العلاقـــات المتبادلة بين العناصر لأن الزيادة فى عنصر معين قـــد تؤدى إلى خفض أو إحـــداث نقص فى عنصر آخر داخل النبات أو الحيوان (أمثلة حديد/منجنيز ، نحاس/موليبـــدنم ، كادميوم/زنـــك ... ألخ) وفى هذا الخصوص بإستخدام طريقة حساسة مثل INAA فإن تحليل التربة وعينات النبات أو الحيوان قـــد تساعد كثيراً فى تشخيص أثر تـــداخل هذه العناصر مع بعضها ، على سبيل المثال قام عبد الصبور وعبد الـــشافى (١٩٨٩) بإستخدام INAA فى الكشف عن الأثر المتبادل لعنصرى Zn , Cd علـــى محتـــوى ســـوق نبات الذرة من Zn, Cd, Fe, Co, Cr وقـــد ظهر أن عنصر الكادميوم لـــه تأثير ســـالب على محتوى النبات من Fe, Co, Cr فى حين أن إضافة Zn أدت إلى تأثير موجب عـــلى محتوى النبات من Cr, Co, Zn وقللت من تركيـــزات CD, Fe فى ســـوق الذرة.

قـــام إســـكندر وعســـكر عام (١٩٨٧) بدراســـة محتـــوى الفـــول المـــدمس والطعمية وهى من أشهر الوجبات الشعبية فى مصـــر ؛ حيث ظهر أن كلاً من الفول المدمس والطعمية ممكن أن تزود الشخص البالغ بالإحتياجات اليومية من العناصر Cl, Cr, Fe, Mn, Se ولكنها لاتمـــده بكمية كافية من Ca وقـــد تـــم إستخدام طريقـــة INAA لتقدير العناصر Al, Ca, Cl, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Se, Zn.

دراســـات تـــلوث البيئـــــة :

تــم وبتوســع إستخدام طريقة INAA فى تقدير مدى تلوث التربة ســواءً من محطات القوى – المناجم – معامل التكرير وتنقية المعادن – إلقاء المخلفات الصناعية ؛ ومن حين إلى آخر تتم كثير من الدراسات على الغلاف الجوى أو المائى بإستخدام هذه التقنيــة بهــدف التحديد الدقيق للواقع البيئى لأى نشاط إنسانى (زراعى – صناعى – بيئى) ، فمثلاً إضافة ســماد المجارى للأراضى الزراعية للتخلص منــه مــن ناحيــة وإستعماله كسماد من ناحية أخرى قد يؤدى إلى مشكلة بيئيــة بسبب تزايــد محتــوى التربة من العناصر الثقيلة والموجودة فى خبث المجارى والتى قد تتراكم فــى التربــة وتصبح ســامة للمحاصيل النامية ثم إنتقالها إلى سلسلة الغذاء والتى تؤثر عــاجلاً أو آجلاً على الإنسان ، وكذلك إحتمالات تلويث المياه الجوفية وتأثر مياه الشرب بها.

فكل هــذه المشكلات تتطلب تحليل العديد من العناصر وبالتالى إستخدام تقنيــة للتحليل متعــدد العناصر ، قــام Weaver وآخرون عام (١٩٧٤) بتقدير العناصر فى خبث المجارى فى ستة مــدن فى ولاية نورث كالورلينا بواسطة طريقة INAA وأمكن تقدير العناصر Se, Sb, Hg, Fe, Cr, Co وإقترح الباحثون أنه يمكن الكشف عــن Ag, Sn, Zn ولكن بعد فترة تبريــد طويلة ؛ وإســتخدم البــاحثون كواشــف جامــا وكواشف الأشعة السينية فى هذه الدراسة ؛ وفى اليابان كان لتلــوث بعــض الأنهــار بعنصر النحاس تأثير ضار على نمو المحاصيل ؛ لذا تم إستخدام طريقة INAA لتقدير النحاس فى أنسجة النبات والتربة ومحلول التربة بإستخدام فيض نيوترونى ٥ × ١٠^{١١} نيوترون / سم^{٢} / ثانية ولمدة خمسين ساعة تبريد ثم تحليل طيف جاما النــاتــج.

وفى مصــر قــام عبد الصبور وآخرون (١٩٨٨) بإستخدام طريقة INAA فى دراســة تأثير إستخدام ميــاه المجارى فى مزرعة الجبل الأصفر على تراكم العناصر الثقيلة فى التربة والنباتات النامية ، وقــد أوضحت النتائج تراكم العناصر الثقيلة Zn, Fe, Co, Cr, Sc, Cd مع زيادة فترات الرى بمياه المجارى خاصة فى الأراضــى ثقيلة القوام ولكن كانت مستويات هــذه العناصر فى أوراق النباتات النامية فى حــدود المســموح بــه.

ولدراسة تأثير النشاط الإنساني علي تلوث التربة تم تحليل عينات للتربة بمناطق زراعية وصناعية وسكنية (عبد الصبور وآخرون ١٩٩٧) وفي هذه الدراسة تم اختيار أراضي من مناطق مختلفة، تم اخذ ثلاث عينات ممثلة من أراضي رسوبية في مــصر العليا، بمحافظة قنا تمثل الأرض الزراعية، ومن المحلة ألكبري بجوار مصانع النسيج تمثل ارض متأثرة بالتلوث الصناعي، وعلي جانبي ترعة الزمر تمثل أراضي متــأثرة بالتلوث من المخلفات الصلبة في منطقة سكنية. وتم أخذ عينتين من أراض رملية مــن أبو زعبل الأولي بدون إضافة ملوثات عضوية والثانية بعد إضافة ملوثات عــضوية. أوضحت النتائج أن تقنية التنشيط النيتروني ذات فائدة عالية في الكشف عن العناصــر النادرة والثقيلة في الأراضي للتقييم البيئي علاوة علي ذلك ظهر أن نوع الأنشطة القائمة علي الأرض تؤثر حتما علي محتواها من العناصر الثقيلة، ولهذا يجب الاهتمام بعمــل مسح دوري لمستويات العناصر الثقيلة وتراكمها في مثل هذه الأراضي لتفادي حدوث

التلوث البيئي كما أوضحت أن أهم العناصر ذات الوقع البيئي مثل الزرنيخ والكادميوم والزئبق قد تتراكم خاصة في التربة المعرضة للمخلفات الصناعية والعضوية.

وفى دراسة للملوثات البيئية لبعض المجارى المائية مثل مجرى النيل وبعض الترع والمصارف عن طريق نبات ورد (عبد الصبور وآخرون ١٩٩٦) ومن نتائج هذه الدراسة أن عينات ورد النيل المأخوذة من المصرف الزراعى كانت تحتوى على كميات أكبر من عناصر الأسترنشيوم والفانديوم والزرنيخ والأنتيمون والفوسفور والبورون واليود سواء فى الساق أو الجذور ، وقد وجد أن التنشيط النيوترونى الفورى كانت حساسة ومناسبة للقياسات متعددة العناصر فى العينات البيئية ، كما وجد أن نباتات ورد النيل يمكن إستخدامها كدليل حيوى حساس للتلوث بالعناصر الثقيلة والنادرة من المجارى المائية.

وأيضا تم دراسة الملوثات المختلفة وتقديرها في بحيرة التمساح (رسالة ماجستير تحت إشراف المؤلف)بمنطقة قناة السويس، حيث أن بحيرة التمساح من البحيرات المهمة في مصر لموقعها المتميز لوقوعها علي مجري قناة السويس ويوجد علي شاطئ البحيرة عدة مصادر للتلوث مثل ورش المقاولون العرب لإصلاح السفن، ورشة التمساح وورشة إصلاح الكراكات ومصرف الفرسان وغيرها.وتهدف الدراسة إلي تقدير تركيز العناصر النادرة في رسوبيات البحيرة واستنتاج العلاقة بين بعضها البعض وكذا العلاقة بينهما وبين مواقع التلوث المختلفة و ذلك لإيجاد طريق وأسلوب للتحكم في التلوث، تم اختيار سبعة مواقع مختلفة علي البحيرة، وتم أخذ عينات ممثلة علي بعد عشرة أمتار حول الموقع في خلال سنة كاملة من صيف ١٩٩٥ إلي ربيع ١٩٩٦ ، وأيضا تم أخذ عينات رسوبيات من القاع عند مركز البحيرة وجميع هذه العينات كانت علي عمق ٥٠ سم من أسفل قاع البحيرة.

تم إعداد العينات (تجفيف–طحن–نخل) واخذ ١٠٠ جرام من كل عينة وتم تغليفها في شرائح الومنيوم وتشعيع العينات وتم قياس طيف جاما للعينات بعد التشعيع وأثبتت النتائج وجود ارتباط معنوي بين العناصر المختبرة وبين مواقع التلوث المختلفة، ومن النموذج الرياضي البسيط المقترح يمكن التنبؤ بمستويات العناصر الثقيلة داخ البحيرة بمعلومية التركيز عند المواقع المسببة للتلوث.

كذلك تمت عدة دراسات علي التلوث في المجال الزراعي من اسمدة مستخدمة في السوق المحلي من أسمدة عضوية وحيوية مختلفة. وقام (عبد الصبور وآخرون ١٩٩٧) بتحليل ٤ أنواع من الأسمدة الحيوية المستخدمة بكثرة فى مصر وهى نتروبين ، رايزوبكترين ، سيريالين وهى مثبتات للنتروجين والنوع الرابع فوسفورين وهو مذيب للفوسفور ، وتم دراسة هذه الأنواع باستخدام PDNAA وتم تقدير ٢٣ عنصراً وتم تعيين تركيزاتهم ومعرفة العناصر السامة والضارة فيهم. وقد أكدت النتائج عن وجود بعض العناصر الضارة وغير المرغوب فيها ، والتى تؤثر على البيئة باستخدام بعض الأسمدة العضوية مما قد يؤدى الى تراكم بعض العناصر السامة مثل Cr, Sc, Sp, Th ونتيجة لذلك سوف يتحول الى جسم الإنسان عن طريق الأغذية.

وكذلك تم دراسة تأثير الأسمدة العضوية المختلفة المضافة للتربة على النباتات مثل الذرة والسمسم. وفى هذا البحث تم دراسة حبوب محصولين (سمسم وذرة) نامية على تربة ملوثة بمصادر عضوية مختلفة مثل سماد المجارى وسماد القمامة عند ثلاث مستويات للتركيز [٤ ، ٦ ، ٨ %]، وأوضحت النتائج أن زيادة مستويات المخلفات العضوية فى التربة أدت إلى زيادة تركيزات العناصر الثقيلة فى حبوب النبات مثل (الحديد – الزنك – الكوبلت – الكروميوم – السكانديوم – الزئبق). وكانت بذور السمسم تحتوى تركيزات أعلى من حبوب الذرة فى معظم الحالات. كما أدت إضافة سماد القمامة إلى إحتواء الحبوب على مستويات أعلى من العناصر الثقيلة بالمقارنة بمعاملة سماد المجارى.

ومن هذه النتائج نجد أن خطورتها على صحة الإنسان ، حيث يمكن أن تنتقل هذه المعادن الثقيلة من التربة الى النبات أو الحيوان ومنه الى الإنسان وهو ما يسمى بسلسلة الغذاء ، ولهذا يجب قياس مستويات المعادن الثقيلة فى أنواع الغذاء المختلفة دورياً (سواء محلية أو مستوردة).

كذلك تم استخدام أسلوب التنشيط النيتروني في دراسة بعض العينات الصناعية التي يكون لاستخدامها بعض المردودات البيئية والصحية مثل السجائر حيث تم دراسة وعمل مقارنة بين أنواع مستوردة ومحلية ، وقد وجد بصورة عامة أن تركيزات العناصر كانت عالية في النوع المحلي عنها في الأنواع المستوردة. ووجد ان ٧١,٥% من البروم يستنشق مع الدخان في النوع المحلي مقارنة ب ٥٦,٨% في النوع المستورد. وكان انتقال الكوبالت بنسبة ٢٥% وهذان العنصرين يمثلان خطر على الصحة لارتباطهما بسرطان الرئة. وكانت نسب انتقال الانتيمون عالية في النوعين من ٤٠–٥٠%، وهذه النسبة عالية لسمية هذا العنصر. ومن الدراسة نستطيع ان نستخلص ان تعاطي السجائر يسبب دخول عناصر سامة إلي جسم الإنسان سواء أكانت مستوردة أم محلية علما بأن نسبة العناصر السامة في النوع المحلي كانت اعلي منها في المستورد (لانخفاض جودة الدخان والفلتر) وبزيادة أعداد المدخنين للأنواع المحلية لرخصها تتضح الخطورة المتزايدة علي صحة المدخنين والمرافقين لهم من غير المدخنين (التدخين السلبي).

من كل ما سبق يمكن إجمال القول في أن تتبع المحتوي البيئي من ناحية الملوثات المختلفة ومصادرها ومسبباتها بأسلوب تقني عالي الحساسية يكون له المردود الطيب في تجنب الكثير من التداعيات الخطيرة علي البيئة وبالتالي علي الإنسان الذي هو أغلي وأثمن ما في الوجود.

References

1) **A._El-Shershaby, N.Walley El-Dine, A.S. Abdel-Haleem and M.F. Abdel-Sabour (1998). Rare-earth and trace elements in Temsah lake sediments, A tool to assess pollution sources in the lake,** ***Nuclear Sci. J. Vol. 36 :145-151.***

2) **M.F.Abdel-Sabour, R.O.Aly, M.T. Khalil and A. H. Attwa,(1998). Indicators of lake Temsah potntial pollution by some heavy metals, II)heavy metals in sediment, Proc.** ***Inter. Conf. Hazardous Waste Sources, Effects and Management. Vol. I:207-215.***

3) **M.F.Abdel-Sabour, R.O. Aly and A. H. Attwa, (1999). Levels of metal pollution in lake Temsah as determined by some bioindicators,** ***J. Agric. Mansoura Univ., 24:5977-5987***

4) **R.O. Aly, A.A. Mohamed and M.F.Abdel-Sabour,(1999). Heavy metals levels in total dissolved solids and total suspended solids of lake Temsah,** ***J. Agric. Mansoura Univ., 24:5965-5976.***

5) A. Nada, M. Abdel-Wahab, A. Sroor, A.S. Abdel-Haleem and M. F. Abdel-Sabour (1999). Heavy metals and rare earth elements source-sink in some Egyptian cigarettes as determined by neutron activation analysis. *Applied Radiation and Isotopes 51:131-136.*

6) A. Sroor, S. M. Bahi, A.S. Abdel-Haleem and M.F. Abdel-Sabour (1998). Organic waste composts, A serious rare-earth source as determined by neutron activation analysis. *Nuclear Sci.J.Vol.35:441-446.*

7) Abdel-Haleem, A.S., M.F. Abdel-Sabour and R.A. Zajhloul, Proc. of nviron. Contain., CEP Consultants Ltd., UK, PP. 263-265 (1992).

8) Awdallah, RM., M.K. Sherif and A.H. Amrallah, J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles. 98 (2): 235-246 (1986).

9) Bowen, H.J.M., in Nuclear Activation techniques imlife Sci. TAEA, Vienna (1967).

10) Fengxiang, C., Z. Jiamrhou, L. Deshao and L. Huing Nucl. Tech. 10(7) : 29-32 (1987).

11) Iskander, F.Y., Environmental pollution (Series B) 11 (1986) : 291-301.

12) Iskander, F.Y., and A.Askar ERNAffRUNG/Nutrition, Vol. hh / N7R. 11,(1987).
13) Johanesen, 0. and E. Strinnes, Acta Agric. Scand., 22: 104, (1972).
14) Kerr, S.A., Ph. D. Thesis, Part, Univ., Surrey, England, (1978).
15) Mc, Neily, J. H. and E. Eichler, Tech. Report CWLR, 2299, U.S Army Chemical center, Maryland, (1959).
16) Mickown, D., M. Kay, D. Gray, A. Abu-Samra, IE. Eichor and J. Vogt, in Nuclear Methods in Environmental Research, (J.R. Vot, T. E. Parlrinson and R.L. Carter, Eds) Univ. Missouri, Columbia, 1971, p. 150.
17) Mitchl, R.L., in Trace Elements in soils and Crops, MAFF Tech., Bull. 21 llmso, London (1971).
18) Fahman, S.M., Nucl. Sci., Applicat., 6 : 42 (1972).
19) Salmon, L. and P.A. Cawse In K.A. SwAth (ed) Soil Analysis, Marcel Dekker, Inc. New York,pp. 327.

مقالات نووية (٦)

الطاقة النووية ... وإنتاج الطاقة الكهربائية والبرنامج النووي المصري

مقدمة

يجابـــه العالم اليوم موقفاً صعباً ، فالإســـراف فى إســـتخدام الطاقة فـــى كـــل مكان يهـــدد مصادر الطاقة التقليدية بالنضوب خلال بضع عشـــرات مـــن الـــسنين ، وكذلك فإن إعتماد بعض الدول إعتماداً زائداً على مصادر الطاقة المـــستوردة يهـــــدد نمو هذه الدول بشكل خطير ويؤثر على كيانها الإقتصادى وإســـتقلال ســـياســـتها.

ومن ناحية أخرى يضع الوقود الأحفورى المجتمع البشرى أمـــام معـــضلة ، فإحراق الفحم والنفط والغاز الطبيعي في جميع أنحاء العالم يزودنا بنحو ٨٤% مـــن الطاقة التي نستهلكها ، هناك مليارات من الاشخاص يعيشون في هذا العالم و لـــيس لديهم سبل الوصول الى الطاقة الحديثة.فبالنسبة لهم،قد يكون اشعال نار فـــي جـــذوع الخشب هو مصدرهم الوحيد للحصول على طاقة – الا انه يخلق مـــشكلات بيئيـــة و صحية خطيرة. و طبقا لارقام منظمة الصحة العالمية(WHO) هناك نحو ١,٦ مليون شخص يموتون كل عام بسبب تلوث الهواء في المنزل غالبيتهم من النساء و الاطفال و هذا يحدث بفعل نيرانهم المكشوفة التي يشعلونها و يحرقـــون فيهـــا الاخـــشاب و الروث. و استخدام انواع الوقود الحفري.يموت سنويا نحو ٨٠٠ الف شـــخص مـــن استنشاق هذا الهواء الملوث،اغلبهم من اشد قاطني المدن فقرا. و ان لم نفعل شـــيئا فسوف تزداد المشكلات سوءا. و تقول الوكالة الدولية للطاقة(IEA) ان الطلب علـــى الطاقة سوف يزداد بنسبة ٦٠% بحلول عام ٢٠٣٠ فان لم نغير سياساتنا، فـــسوف تزداد انبعاثات ثاني اكسيد الكربون بنفس المعدل، و كما نعلـــم، فـــان ثـــاني اكـــسيد الكربون هو السبب الرئيسي لظاهرة الاحتباس الحـــراري. فمـــن الـــضروري تنفيـــذ بروتوكول كيوتو،و لكن ذلك لن يكون كافيا لمنع انبعاثات ثاني اكسيد الكربون. يجـــب ان نفعل اكثر من هذا. و الا ستكون العواقب على البيئة و الـــصحة العامـــة و الفقـــر بالسوء الذي لا يمكن تخيله. و كما هو الحال دائما سيكون الناس الاشـــد فقـــرا هـــم الاكثر معاناة. و الغازات التي تنبعث أثناء الإحتراق تفسد البيئة إلى حد تغيير المنـــاخ على الأرض وتهديد صلاحية الأرض للسكن في المستقبل ، كمـــا أصـــبحت مـــشكلة الأمطار الحمضية ، ودخان المدن وإرتفاع حرارة الأرض بسبب زيادة مستوى ثـــاني أكسيد الكربون وغيره من الغازات المسماه بالغازات الدفيئة في الغلاف الجـــوى مـــن أكبر المشكلات البيئية ، والتي يبحث العلماء عن تـــقـــنيات جديدة لتخفيـــف آثارهـــا. والسؤال الرئيسي الان : هل يمكن ان نتخطي اليوم النظام الحالي للطاقة غير النظيفة (التقليدية والموروثة) الي نظام اكثر نظافة وذكاء وقدرة علـــي الاســـتمرار؟ ويجيـــب فيتيسواران في كتابة الطاقة للجميع (٢٠٠٣) بالايجـــاب لان قواعـــد لعبـــة الطاقـــة والحركة العالمية نحو تحرير اسواق الطاقة وتنامي النزعة البيئية الشعبية والابتكارات التكنولوجية في مجالات مثل خلايا وقود الهيدروجين وغيرها سوف تؤدي الي نظـــام طاقة جديد يلبي احتياجات المستقبل ويعالج في الوقت نفسة مـــشكلات خطيـــرة مثـــل احترار الارض وتلوث الهواء ويدعو المؤلف الي انهاء الادمان علي النفط وقال انـــه سيحدث حتما بسبب مشاكل اقتصادية وسياسية بالاضافة لمشاكل ايكولوجية ويـــضرب مثل بسعر البترول نافيا انه يتحدد بالتفاعل الحر بين العرض والطلب الا جزئيـــا وان منظمة الاوبك حسب اهوائها تتحكم فية (من الواضح ان المؤلف بالرغم انـــه هنـــدي

الاصل قبل ان يحصل علي الجنسية الامريكية وجد انه من الاربح ان يتحامل علي الدول المنتجة للبترول حتي ينسجم مع التيار الغربي) فسعر البيرميل تذبذب من نحو ٢٠ دولار طوال عقد التسعينات الي ان انخفض الي ١٠ دولارات للبرميل عام ١٩٨٨ ثم عاد وارتفع الي اكثر من ٣٠ دولار للبرميل في اوائل عام ٢٠٠٣ (طبعا بعد الاحتلال الامريكي للعراق واستيلائها علي موارد بتروله وما تبعها من عدم استقرار في الشرق الاوسط فقز السعر الي ٧٠ دولار) وبعد اتهامات بن لادن لامريكا باستغلال وجودها العسكري في السعودية للحفاظ علي انخفاض اسعار النفط واعتبر ان هذا الاغتصاب العدائي لارث بلادة بالاضافة الي حوالي ٣٦ تريليون دولار قيمة عائدات المفقودة مما يعني ان امريكا تدين لكل مسلم في العالم بنحو ٣٠ الف دولار وهو دين في اذدياد. مما نبة خبراء امن الطاقة الغربيين الي انه بمكن ان يقوم نظام معاد بالاستيلاء علي حقول النفط في الشرق الاوسط واما يقوم برفع الاسعار بصورة جنونية او يقطع امدادات النفط كليا . وقبل الحادي عشر من سبتمبر كان واضعوا السيناريو يطمئنون انفسهم بأن ذلك اذا حدث في اي وقت فما علي امريكا سوي ان ترسل قواتها لسحق مثيري المتاعب وضمان طريق آمن للامدادات النفطية. وهذا ما حدث في حرب الخليج الاولي حين قام جورج بوش الاب بطرد صدام حسين خارج حقول النفط الكويتية وبعد عشر سنوات قام ابنة بالاستيلاء علي حقول بترول العراق حيث يمتلك هذا البلد ثاني اكبر مخزون نفطي في العالم بعد المملكة السعودية. وبالرغم من التفوق العسكري فقد كشفت احداث سبتمبر عن حدود القوة الامريكية وقابلية نظام الطاقة العالمي للتعرض لصدمة نفطية مما قد يتسبب في ازمة اقتصادية عالمية من نوع غير مسبوق ويقول المؤلف ان مشكلة النفط ليست في الندرة وانما المشكلة الحقيقية في تركزة في الرمال الصحراوية لعدد قليل من دول الخليج العربي (لاحظ النظرة الحاقدة علي بلاد العرب والشعوب العربية) والمملكة السعودية وجيرانها يمتلكون ثلثي مخزون العالم من النفط ودائما يطمئن المسؤلين السعوديين الامريكان بان بلادهم سوف تؤمن امدادات النفط دائما وعلي سبيل المثال القي علي النعيمي وزير النفط السعودي عام ١٩٩٩ خطابا اوضح فية ان بلادة تحتفظ باحتياطي من الطاقة الفائضة لمواجهة اي انقطاع في الامدادات واشار الي ان الانتاج الاحتياطي للسعودية وليس انتاج اي من دول غير الاعضاء في الاوبك هو ما مثل طوق النجاة في حالات الانقطاع السابقة التي نتجت عن اندلاع الثورة الايرانية والحرب الايرانية العراقية وحرب الخليج. ولكن اطماع الغرب لاتقتنع بهذا الرضوخ التام وتتسأل ماذا سيحدث لو استبدلت انظمة الحكم باخري معادية للغرب؟ ويبدد اللورد براون رئيس ال "بريتيش بتروليام" هذه المخاوف بانة مهما كان النظام اصوليا فسيظل بحاجة الي اموال للعناية بشعبة وكثير من الاقتصاديين يوافقونة الري وان النفط سلعة قيمتها في استهلاكها ولاقيمة لها اذا لم تصل الي السوق

والجدير بالذكر أنه إذا لم يضطرنا إجهاد البيئة إلى التحول نحو أنواع أخرى من الوقود لإنتاج الطاقة فإن المتاح من الوقود الأحفوري سيفرض مثل هذا التحول في نهاية الأمر.

تسخير الطاقة في النمو الاقتصادي.

للبلدان النامية الحق في النمو الاقتصادي. انهم بحاجة اليه لمكافحة الفقر. و لكن النمو يتعذر تحقيقة بدون سبل الوصول الى الطاقة الحديثة.و اذا كنا بصدد فعل شيء بهاذا الخصوص، فيجب ان تبدأ بالاحتياجات الاساسية للبلدان النامية. دعوني اضرب لكم مثالا. ان ثلث تعداد البشرية على الاقل، الذين يعيش معظمهم في المناطق الريفية من البلدان النامية، ليس لديهم الامدادات الكافية من الطاقة اللازمة لتلبية احتياجاتهم اليومية، أو اللازمة للرعاية الصحية او التعليم. هذا الامداد المحدود و غير الموثوق به من الطاقة يعد عقبة مباشرة امام التنمية الاقتصادية. تخيلوا فحسب: ان ملايين الاشخاص يقضون وقتا طويلا في جمع حطب الوقود اللازم لبقائهم على قيد الحياة. و لن تستطيع الشركات ان تعمل بسبب انقطاعات التيار الكهربائي. و لن يكون بمقدور المدارس و المستشفيات ان تعمل كما ينبغي. كما ان الطاقة ضرورية ايضا لتبريد الادوية و توفير الانارة حتى يتمكن الاطفال من اداء واجبتهم المنزلية في المساء. ولهذا ينبغي على العالم الصناعي تقديم يد العون للبلدان النامية لتامين الامداد بالطاقة. و الاهم من ذلك، ان يكون الامداد بالطاقة مستداما. و هذا يتطلب اموالا طائلة.

الاستثمار عنصر اساسي:

تقدر الوكالة الدولية للطاقة **IEA** ان الامر سيتطلب نحو ١٦ تريليون دولار لتامين امداد عالمي للطاقة بحلول ٢٠٣٠.و ستكون هناك حاجة الى يد العون المقدمة من الحكومات و القطاع الخاص و منظمات المجتمع المدني، لان البلدان النامية لا يمكنها ان تفعل ذلك بمفردها. و بعد بداية طموحة اصبح القطاع الخاص اكثر اعراضا عن القيام باستثمارات هامة في قطاع الطاقة في البلدان النامية. و ترى الشركات ان المخاطر المالية مرتفعة للغاية. و هنا ياتي دور حكومات البلدان النامية. فعليها ان توفر المناخ المستقر و الحكم الرشيد.و بامكان الدول الغنية تقديم يد العون، و ذلك بتقديم الموارد المالية او بتحسين ظروف الاستثمار.

توفير الطاقة:

اذا فالامر يتطلب مالا و لكننا يمكن ايضا ان نوفر المال باستخدام الطاقة التي لدينا على نحو اكثر اقتصادا.يمكننا ان نحقق نسب توفير للطاقة في البلدان النامية على نحو اكثر اقتصادا يمكننا ان نحقق نسب توفير للطاقة في البلدان النامية تتراوح من ٣٠% الى ٤٠% باتخاذ اجراءات قليلة التكاليف و موفرة للطاقة. و الاستثمارات التي يتطلبها هذا الاجراء سيتم استعادتها بسرعة كبيرة. و الاكثر من ذلك هو ان الابتكار و التقنيات المؤاتية للبيئة تنشط الاقتصاد.كما ان توفير الطاقة يقلل انبعاثات ثاني اكسيد الكربون و من ثم يسهم في الحد من تلوث الهواء في المنطقة المحلية و لذا يمكن للنظم الاقتصادية في البلدان النامية ان تنمو و ايضا ستعم الفائدة على المناخ العالمي.

في العقود القادمة سيكون الطلب على الطاقة كبيرا لدرجة ان جزء فقط منـــه هو الذي سيتم تلبيته من خلال مصادر الطاقة المستدامة و سوف تظل انواع الوقـــود الحفري تهيمن على الوضع و لهذا سيتعين علينا ان نحرص على ان مصادر الطاقـــة غير المستدامة-مثل الفحم و البترول و الغاز- لن تضر البيئة الا باقل قدر ممكـــن و بموجب بروتوكول كيتو سوف تصبح الية التنمية النظيفة اكثر اهمية.

و هذة المسألة الرئيسية التي علي المحك- كيف يمكننا التاكد من وجود طاقة كافية لكل شخص في البلدان النامية.ماذا علينا ان نفعل لكي يحدث ذلـــك؟ ان مـــشكلة الطاقة مشكلة عالمية و من ثمة يجب معالجتها على هذا المستوى و ان لو نفعل شيئا فالمشكلات ببساطة سوف تزداد سوءا و بخاصة عندما نضع في الاعتبـــار الازديـــاد المستمر في الطلب على الطاقة.

رسائل واضحة:

في مؤتمر الطاقة من اجل التنمية الذي تم تنظيمه في نوردويك في هولندا في ديسمبر ٢٠٠٤ بالتعاون مع البنك الدولي و برنامج الامم المتحدة للبيئـــة، و مجلـــس التجارة و الاعمال الدولي للتنمية المستدامة. بالامكان تلخيص الرسائل الاساسية على النحو التالي:

1. **الطاقة عنصر اساسي للنمو الاقتصادي و من ثم يجب ان تكـــون ذات اولويـــة قصوى على المستوى الدولي و الوطني**
2. **يجب ان نبذل كل ما في وسعنا لنتأكد من ان لدي الفقراء سبل الوصول الـــى الامداد اليومي من الطاقة الحديثة**
3. **يجب قبل فوات الاوان ان نولي اهتمامنا للقضايا البيئية و الصحية المرتبطـــة بالطاقة**
4. **يجب توفر حكم رشيد و اصلاح للـــسوق و منـــاخ جيـــد للاســـتثمار لجـــذب الاستثمارات**
5. **يجب ان نعكس الاتجاه الهابط في مساعدات التنمية الرسمية الخاصة بمشاريع الطاقة**

و بدون سبل الوصول الى الطاقة تكون فرص تنمية المـــشروعات التجاريـــة محدودة انها حلقة تقوم فيها الطاقة بدعم النمو الاقتصادي الذي بدوره يزيد من الطلب على الطاقة و امامنا مهمة ضخمة ملقاه على عاتقنا و هي ان نرسم طريقا يمكننا من تحقيق اقصى الفوائد البيئية في مواجهة الصعوبات الاقتصادية.

الاشكالية النووية:

تناقصت شعبية الطاقة النووية خلال عقدي السبعينيات والتمانينيات وظهر رأي عام مضاد يهدد بمنع بناء مفاعلات جديدة ، فكم تناقضت الصورة عن ماكانت عليـــه في الخمسينيات حي دأبت الصحافة علي افراد العناوين والمقالات التي تسبح بأمالهـــا ورخصها وخلودها ، حتي أن المفاهيم التي تولدت في أذهان العامة ضجت بهم فراوا فيها تقدما هائلا هو حتما الطريق الي عد افضل ، وسرعان ما اتي عقد الستنيات الذي حفل بسلسلة من الحوادث التي زادت من مخاوف الكثيرين وبدأ الرأي العـــام يعطـــي ظهره لما كان ، وبدأت حركات الشباب المناهضة للسلطة وللقيود ، وبأن سعي هـــذا الجيل لحياة أبسط وأقرب للبدائية أو " الطبيعية " متمثلة في اسخدام الاخاب والطاقـــة الشمسية مفضلا اياها عن أشكال الطاقة المرتكزة علي التقنيات العلمية ، وقد رافـــق هذه الحركة حركة اخري ساهمت في خلق نفس الاجواء ، الا وهي الحركـــة البيئيـــة التي أظهرت المدي الذي تسببت فيه النفايات الصناعية من ضرر بالحيـــاة الطبيعيـــة وبالانسان وما تعلق بها من تلوث للهواء والماء والتربة من أثر الانبعاثات الاشعاعية الصادرة من المفاعلات النووية ، واتسعت الاشارات المنوهة عن سوء ادارة النفايات الكيميائية الضارة وهو ما خلق رأي عام مضاد حول النفايات الاشعاعية ، ولـــم يكـــن العلماء ومنهم الحاصلين علي جوائز نوبل بأفضل حالا من العامـــة بـــل أن اخـــتلاف اراءهم حول الحكمة من تطوير الطاقة النووية لعب دورا مؤثرا في وغرالصدور تجاه الامر برمته ، فالخطر الغير معلوم تفصيلا من المفـــاعلات والنـــشاطات الاشـــعاعية والاشعاع يبعث رعبا يفوق ما يبعثه الخطرالمعلوم من حوادث السيارات مـــثلا ، فقـــد يمكن الاتفاق علي أن تعرض المرء للموت بسبب حادثة سيارة فرصـــته أكبـــر مـــن تعرضه لتساقط غبار ذري ناشيء عن حادثة مفاعلات ، غير أن الخطر علي الطريق مألوف ويفترض أنه تحت تحكم الفرد ، وليس ببعيد ارتباط الطاقة النووية بالاســـلحة النووية في اذهان الناس ، فهذا أمر لايمكن تجنبه وكلاهما يحتاج للبلوتونيوم ويعتمد علي عملية الانشطار الفيزيقية بالنيوترونات وتنطلق الطاقة الاشعاعية كناتج ثانوي ، ومثلما هو الحال عند النظر في أي قضية تعددت وتنوعت واختلفـــت الاراء ، وعلـــي طرف أخر وقف المدافعون المؤمنون بأمان الطاقة النووية وبالحـــاح الحاجـــة اليهـــا وبامكان نجاحها اذا ما تراجعت المعارضة ضدها ، وقد انضوت نسبة كبيرة من علماء الفيزياء والمهندسين تحت هذا اللواء معتنقين الرأي بأن الحلول التقنية آتية لامحالـــة للتخلص من العقبات الكبري ، ويتلو هؤلاء من هم علي دراية فنية ولكنهم يتـــشككون في قدرة الانسان علي تجنب حوادث المفاعلات وعلي تصميم وبنـــاء مـــدافن أمنـــة للنفايات النووية ، وعلي قدر ريبهم يتشكل اعتقادهم في جدوي الطاقة النوويـــة مـــن عدمه ، ويتلو هؤلاء اواسط العامة الذين ينظرون بنظرة التوجس والتحدي لحكوماتهم ، فهم عارفون بما مر من أحداث في " لف كنال " و "ثري مايل ايلاند " وانفجار مكوك الفضاء في ١٩٨٦ ثم " تشرنوبل " في نفس العام أيضا ، وهم أيضا الـــذين تـــأثروا بالدعاوي القوية ضد الطاقة النووية رم ادراكهـــم للحاجـــة الدائمـــة لتوليـــد الطاقـــة الكهربائية ، ثم يأتي علي الطرف النقيض هؤلاء المناوؤن للطاقـــة النوويـــة الـــذين يتحدثون بهمه ويكتبون ويرفعون القضايا ويثيرون المظاهرات وقـــد يتخـــذون مـــن الاجراءات ما يمنع أو يعيق انشاء مفاعلات تزمع الحكومات إنشاءها.

ويظهر التفاوت الكبير في مواقف الاعلامين وصناع الاعمـال الراميـة علـي اتساع العالم غير أن من الميسور تبين اتجاه واضح للتشكك ، فالناصـحون بالطاقـة النووية مقتنعون بأن أي حادثة تلحق بالمفاعلات أو تتسبب في التعـرض للاشـعاع سوف تلق اصداءا واسعة من وسائل الاعلام ، ويعتقدون أنه لو تسني للنـاس فهـم سليم لوجدوا الطاقة النووية أمرا مقبولا ، والحقيقة أن تلك النظرة صحيحة جزئيا فقط ويرجع ذلك الي سببين ، الاول أن الفنيين العارفين يقفوا بقوة ضمن الحزب المعارض والثاني أن المخاوف التي تتعدي حدود العلانية لايمكن زحزحتها بمجرد توافر بعـض الحقائق الإضافية.

وأخيرا إذا كان هناك ثمة أمل في ايجاد رأي عام مرحب بالطاقة النووية فانـه لابد أن يعتمد في حدة الادني علي تقـارير مؤكـدة وممتـدة لـسلامة وكفـاءة أداء التشغيل في المنشآت النووية.

وقد بلغ عدد المفاعلات حتي نهاية ديسمبر ١٩٨٩ حوالي ٤٢٦ مفاعلا نوويا بقدرة اجمالية تزيد عن ٣١٨ ألف ميجاوات كهربي وتبلغ النسبة المئويـة لاجمـالي القدرة الكهربية المتاحة من كل نوع من أنواع المفاعلات النووية المختلفة الي اجمالي القدرة الكهربية المتاحة من جميع المحطات النووية كمايلي :

٦ر٥٨ % من الطاقة المنتجة من مفاعلات الماء المضغوط ، ٤ر٢٤ % مـن مفاعلات الماء المغلي ، ٣ر٦% من مفاعلات الجرافين المبددة بالماء ، ٣ر٥% مـن مفاعلات تبريد ازي ، ٨ر٤% من مفاعلات ماء تمثيـل ، ٥ر٠% مـن المفـاعلات المولدة السريعة ، ١ر٠% من أنواع أخري.

وتستغل الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات الانشطارية للوقود النووي في توليد البخار اللازم لانتاج الكهرباء ويتم ذلك كما هو موضح بالرسم (شكل ٨) بامرار سائل أو غاز في قلب المفاعل يطلق عليه المبرد ، ويمتص المبرد الحراره المتولـدة في الوقود النووي فترتفع درجة حرارته ويمرر بعد ذلك في مواسير داخـل مايـسمي بمولد البخار المستخدم في معظم أنواع المحطات وتحدد طريقة توليد البخار المستخدم في غذية التوربينات التي تقوم بدورها بتشغيل مولد الكهرباء نوعية المحطة النوويـة فقد يتولد هذا البخار مباشرة داخل قلب المفاعل كما في حالة مفاعلات الماء المغلي أو يتولد عن طريق وسيط يسمي مولد البخار كما في حالة مفاعلات الماء المضغوط.

ومن الدراسات الاقتصادية عن تكاليف انتاج الكهرباء علـي أسـاس اسـعار التكلفة التي اعلنتها الوكالة الدولية للطاقة النووية في فينا **IAEA** تبـين أن تكلفـة انتاج كيلوات/ساعة من مفاعل نووي قدرته الف ميجاوات لاتزيد عـن ٢ر٤ سـنت امريكي بينما تصل هذه التكلفة في حالة المحطة الحرارية التي تدار بالفحم ولها نفس القدرة السابقة ، حوالي ٣٣ر٦ سنت امريكي والي ٥ر٦ سنت اذا كانت المحطة تـدار بالبترول ويتضح من ذلك أن سعر انتاج الكيلوات/ساعة في المحطة الحراريـة يزيـد بمقدار ٣٥% علي تكلفة الكيلوات/ساعة الناتج من المحطة النووية ويعنـي ذلـك أن المحطة النووية التي تبلغ قدرتها الف ميجاوات توفر نحو ١٣٠-١٤٠ مليـون دولار

في العام عن المحطة الحرارية المماثلة لها وتولد بالفحم وتوفر ١٧٠ مليـــون دولار بالنسبة للمحطة الحرارية التي تدار بالبترول.

وإذا فرضنا أن العمر الافتراضي للمحطة يصل الي ٣٠ عاما فان اجمالي الوفر يبلغ حوالي ٢ر٤ مليار دولار خلال هذه الفترة وهو مبلغ ضخم يمكن اســتغلاله فـــي تجديد وصيانة المحطة النووية.

أن فكرة المفاعلات الذرية سهلة لكن الصعوبة في التنفيذ العملي لهذه الفكرة يرجـــع الي الظروف المحيطة بالمفاعل والي الطاقة الهائلة التي يلزم الـــتحكم فيهـــا والـــي الاحتياطات الواجب اتباعها لضمان الامان سواء بالنسبة للعاملين بالمفاعل أو للسكان المقيمين في المنطقة المحيطة بها.

ومع تطور تقنيات المفاعلات النووية فى أوائـــل الخمـــسينات لقيـــت الطاقـــة النووية ترحيباً بإعتبارها الحل البديل لمشكلات الطاقة فى العالم ، ويـــرى المؤيـــدون لإستغلال الطاقة النووية أن التقدم العلمى والتكنولوجى وإرتفـــاع مـــستوى معيـــشة الشعوب سيفرض علينا أن نبحث عن مصادر جديدة للطاقة ، ومـــع زيـــادة عـــــدد المفاعلات تزايدت إحتمالات الحوادث النووية وإتهمت الطاقة النووية بأنها الطريقـــة الأكثر خطورة ، وزادت المعارضة لها خصوصاً بعد حادثة ثرى مـــايلز فـــى مـــارس ١٩٧٩ بالولايات المتحدة الأمريكية ، وحادثة تشيرنوبل فى أبريـــل ١٩٨٦ بالإتحـــاد السوفيتى السابق مما أدى إلى توقف بناء المفاعلات في عدة دول. ويرى المعارضون لإستخدام الطاقة النووية أن مستقبل هذه الطاقة مازال مشكوكاً فيه لآســـباب متعـــددة منها مايتعلق ببعض آثارها الضارة على البيئة المحيطة بها مثل المخاطر التى قد تنشأ عن تسرب الإشعاعات من المفاعلات أو التلوث الحرارى للمجارى المائية ومخـــاطر التلوث الناشئ عن المخلفات النووية المشـــعة. والجـــدول التـــالى يبيـــــن عـــــدد المفاعلات النوويـــة العاملة حالياً والمســـتخدمة فى توليـــد الكهربـــاء فى مختلـــف بـــلدان العالم والنســـبة المئويـــة لتوليـــد الكهربـــاء فيهـــا ، كـــذلك مـــشـــاريع المفاعـــلات تحت الإنشـــاء فى التســـعينـــات.

جدول (١) المفاعلات النووية وإنتـــاج الطاقة الكهربائية بالميجاوات
(المصدر **IAEA** فيينا)

الدولة	مفاعلات عاملة	كهرباء فولت (MWt)	النسبة المئوية لتوليد الكهرباء	مفاعلات تحت الإنشاء
كنـــدا	١٨	١٢١٨٥	%١٥,٦	٤
كوبـــا	–	–	–	٢
المكسيك	١	٦٥٤	–	١
الولايات المتحده	١١٠	٩٩٣٣١	%١٩,١	٤
الأرجنتين	٢	٩٣٥	%١١,٤	١
البرازيل	١	٦٢٦	%.٧	١
بلجيكا	٧	٥٥٠٠	%٦٠,٨	–
بلغاريا	٥	٢٥٨٥	%٣٢,٩	٢
المانيا	٣٠	٢٤٨١٨	%٤٥,٢	٦
تشيكوسلوفاكيا	٨	٣٢٦٤	%٢٧,٦	٨
فرنسا	٥٥	٥٢٥٨٨	%٧٤,٦	٩
فنلندا	٤	٢٣١٠	%٣٥,٤	–
المجر	٤	١٦٤٥	%٤٩,٨	–
ايطاليا	٢	١١٢٠	–	–
هولندا	٢	٥٠٨	%٥,٤	–
رومانيا	–	–	–	٥
اسبانيا	١٠	٧٥٤٤	%٣٨,٤	–
السويد	١٢	٩٨١٧	%٤٥,١	–
سويسرا	٥	٢٩٥٢	%٤١,٦	–
انجلترا	٣٩	١١٢٤٢	%٢١,٧	١
يوغوسلافيا	١	٦٣٢	%٥,٩	–
الصين	–	–	–	٣
الهند	٧	١٣٧٤	%١,٦	٧
ايران	–	–	–	٢
اليابان	٣٩	٢٩٣٠٠	%٢٧,٨	١٢
باكستان	١	١٢٥	%٢	–
كوريا الجنوبية	٩	٧٢٢٠	%٥٠,٢	٢
تايوان	٦	٤٩٢٤	%٣٥,٢	–
روسيا	٤٦	٣٤٢٣٠	%١٢,٣	٢٦
جنوب افريقيا	٢	١٨٤٢	%٧,٤	–

الانشطار النووي والمفاعلات النووية :

يعتبر الانشطار النووي من الوسائل الأساسية للحصول على الطاقة النووية ، والانشطار النووي ينتج عند اصطدام نيوترون متحرك بسرعة مناسبة بنواة ذرة ثقيلة قابلة للانشطار فتلتحم به مكونة نواة غير مستقرة تنقسم مباشرة إلى نواتي عنصرين أقل وزناً "يطلق عليهما نواتج الانشطار " ، ويصحب ذلك انطلاق عدد من النيوترونات السريعة يتراوح بين ٢-٣ نيوترونات . كما تتولد كمية هائلة من الطاقة نتيجة لفرق الكتلة بين النواة ونواتج الانشطار وتتسبب النيوترونات الجديدة بدورها في انشطار نويات أخرى ثقيلة مما يؤدي إلى تولد كميات أخرى من الطاقة مع انطلاق نيوترونات أخرى أكثر عدداً وهكذا تتوالى الانشطارات النووية ، وهذا ما يسمى بالتفاعل النووي المتسلسل ولا ترجع أهمية الانشطار النووي إلى كمية الطاقة الهائلة المتولدة منه فقط وإنما إلى استمرارية توليد هذه الطاقة نتيجة لهذا التفاعل المتسلسل ، ويعتبر اليورانيوم - ٢٣٥ من أهم النظائر التي يعتمد عليها في الحصول على الطاقة عن طريق الانشطار النووي .

تعتمد معظم المفاعلات النووية على اليورانيوم كوقود لها ، واليورانيوم الطبيعي يحتوي على نسبة صغيرة من اليورانيوم- ٢٣٥ القابل للانشطار تبلغ نسبته ٠,٧١% أما الباقي فيشمل نظير اليورانيوم -٢٣٨ ، ونسبة ضئيلة جداً من نظير اليورانيوم -٢٣٤ ، وفي معظم أنواع المفاعلات فإن استخدام اليورانيوم الطبيعي لا يتحقق معه استمرار التفاعل المتسلسل نظراً لضآلة نسبة اليورانيوم -٢٣٥ به وعليه فإنه يلزم زيادة نسبة اليورانيوم -٢٣٥ به عن نسبته في اليورانيوم الطبيعي ويطلق عليه اليورانيوم المثري ، وترجع أهمية وجود نظير اليورانيوم -٢٣٨ في وقود اليورانيوم إلى أنه بامتصاصه للنيوترونات يمكن أن ينتج عنه نظيري البلوتونيوم - ٢٣٩ والبلوتونيوم -٢٤١ القابلين للانشطار واللذين يستخدمان كمصدر لتوليد الطاقة ، وهذه العملية المتمثلة في انتاج عناصر قابلة للانشطار من عناصر أخرى غير قابلة للانشطار يطلق عليها عملية التوليد .

وللتحكم في معدل الانشطار المتسلسل وبالتالي التحكم في معدل الطاقة الحرارية المتولدة منه فإنه يلزم التحكم في معدل النيوترونات المتاحة للانشطار ، ويتم ذلك باستخدام ما يطلق عليه قضبان التحكم ، وتصنع من مواد لها خاصية الامتصاص العالي للنيوترونات مثل البورون والكادميوم ، وعليه فإنه يمكن زيادة معدل امتصاص النيوترونات بإدخال هذه القضبان بين وحدات الوقود ، وبذلك يقل معدل الانشطار المتسلسل أما تحريكها خارج وحدات الوقود فإنه يقلل من معدل امتصاص النيوترونات وبالتالي يزداد معدل الانشطار ، وبهذه الطريقة يمكن التحكم في معدل الطاقة الحرارية المتولدة من الانشطار .

والمفاعل النووي عبارة عن وعاء معدني يوجد بداخله ما يسمى بقلب المفاعل المكون من الوقود النووي وقضبان التحكم بالإضافة إلى مكونات المفاعل الأخرى .
ويطلق على بعض أنواع المفاعلات اسم المفاعلات الحرارية ، وترجع هذه التسمية إلى اعتماد هذه المفاعلات على النيوترونات الحرارية لإحداث الانشطار ، وكما سبق أن ذكرنا فإن النيوترونات بواسطة نويات اليورانيوم - ٢٣٥ دون نويات نظائر

اليورانيوم الأخرى فإنه يلزم تخفيض سرعة هذه النيوترونات حتى تصبح في حالة توازن حراري مع الوسط المحيط بها ، ويتم ذلك عن طريق إتاحة الفرصة لاصطدامها عند انطلاقها بنويات مادة أخرى خفيفة يطلق عليها المهدىء ، وعادة مايستعمل الماء العادي أو الماء الثقيل أو الجرافيت كمهدىء .

وتستغل الطاقة الحرارية المتولدة من الوقود في توليد البخار اللازم لإنتاج الكهربية ، ويتم ذلك كما هو موضح بالرسم بإمرار سائل أو غاز في قلب المفاعل يطلق عليه المبرد ، ويمتص المبرد الحرارة المتولدة في الوقود النووي فترتفع درجة حرارته ويمرر بعد ذلك في مواسير داخل مايسمى مولد البخار المستخدم في معظم أنواع المحطات ، وفيه تنتقل حرارة المبرد إلى المياه المحيطة بالمواسير مما يؤدي إلى توليد البخار الذي يقوم بإدارة تربينات تدير بدورها المولد الكهربي ، أما المبرد فيعود بعد أن يفقد جزء كبير من حرارته أثناء عملية التبادل الحراري مولداً البخار إلى قلب المفاعل وتتكرر الدورة مرة أخرى ، وتسمى دورة مبرد الوقود هذه بدورة التبريد الإبتدائية .

وتحدد طريقة توليد البخار المستخدم في تغذية التوربينات التي تقوم بدورها بتشغيل مولد الكهرباء ، نوعية المحطة النووية فقد يتولد هذا البخار مباشرة داخل قلب المفاعل كما في حالة مفاعلات الماء المغلي أو يتولد عن طريق وسيط يسمى مولد البخار كما في حالة مفاعلات الماء المضغوط وفيما يلي بعض التفاصيل عن

أنواع المفاعلات :

١ - مفاعلات الماء العادي المضغوط :

يعتبر هذا النوع من المفاعلات من أكثر المفاعلات شيوعاً في العالم لتوليد الكهرباء كما يستخدم في السفن والغواصات التي تدار بالطاقة النووية ، ويتكون المفاعل من :

أ - قلب المفاعل الذي يوجد به الوقود النووي على شكل قضبان ، تسمى بقضبان الوقود النووي كما يوجد به عدد من قضبان التحكم للسيطرة على التفاعل المتسلسل ، والوقود المستخدم في معظم مفاعلات الماء المضغوط يصنع من ثاني أكسيد اليورانيوم المثري ، والذي يحتوي على نسبة من نظير اليورانيوم -٢٣٥ تتراوح بين ٢-٣% ، ويصنع الوقود على شكل اسطوانات صغيرة يبلغ طولها حوالي ١سم وقطرها حوالي ٠,٨ سم ، وتعبأ هذه الاسطوانات من أنابيب طويلة تسمى بغلاف الوقود لتكون ما يسمى بعمود الوقود التي يبلغ طوله حوالي ٤ أمتار ، ويصنع غلاف الوقود عادة من سبيكة الزركونيوم أو الصلب غير القابل للصداء لما تتميز به هذه المواد من مقدرة على توصيل الحرارة ومقاومة عالية للتآكل والصداء ، وأيضاً لقلة قابليتها لامتصاص النيوترونات ، ويجمع عدد من أعمدة الوقود باستخدام شبكة معدنية مربعة ليكونوا ما يسمى بحزمة الوقود وتسمح هذه الشبكة المعدنية بمرور المبرد بين حزم الوقود وملامساً لأعمدة الوقود وترتبط قدرة المفاعل بعدد حزم الوقود الموجودة به.

ب - وعاء الاحتواء الذي يحتوي على قلب المفاعل والماء الذي يستخدم في تهدئة النيترونات الداخلة في التفاعل وفي التخلص من الحرارة الناتجة عن عملية الانشطار ، هذا الوعاء مصنوع من الصلب القوي (سمكه حوالي ٢٠ - ٣٠سم) وهو مغطى من الداخل بطبقة من سبيكة غير قابلة للصداء .

جـ - نظام التبريد ونقل الطاقة داخل قلب المفاعل يقوم على ٣ دوائر متتالية هي :-

١ - الدائرة الابتدائية وتتكون من ثلاث دوائر تبريد متماثلة في حالة المفاعلات قدره ٩٠٠ ميجاوات ومن ٤ دوائر تبريد متماثلة في حالة المفاعلات قدره ١٣٠٠ ميجاوات كل دائرة منها تمر عبر وعاء الاحتواء وتنقل الحرارة المولدة داخل قلب المفاعل إلى المبادلات الحرارية المسماه بمولدات البخار التي يتم أول نقل للطاقة الحرارية عن طريق هذه الدوائر المغلقة ، ويوجد ضابط للضغط يعمل على التحكم في ضغط الدائرة ، ويستخدم الماء العادي كمبرد ومهدىء في هذا النوع من المفاعلات ، ولا يسمح له بالغليان داخل دورة التبريد الابتدائية رغم أن درجة حرارته تبلغ حوالي ٣٠٠ درجة مئوية مما يستلزم معه حفظ المبرد تحت ضغط عال يصل إلى حوالي ١٦٠ ضغط جوي .

٢ - الدائرة الثانوية : هذه الدائرة تعمل على امتصاص الحرارة الموجودة في الدائرة الأولى عن طريق المبادلات الحرارية ونقلها على شكل بخار في اتجاه التربينات وهذا يمثل النقل الثاني للطاقة (دائرة مغلقة لا تحتوي على مواد مشعة) .

٣ - دائرة ثالثة للتبريد : تحتوي على مكثف يعمل علي استعادة الحرارة الكامنة في البخار الخارج من التربينات ويبرد هذا المكثف إما باستخدام أبراج التبريد أو بالمياه

في حالة توفر مصدر مياه قريب من المحطة النووية (نهر أو بحر) ، ولا يحتوي ماء تبريد المكثف على أي مواد مشعة .

٢- مفاعلات الماء المغلي :

ويتكون من جزئين المفاعل ودائرة التبريد .

أ- المفاعل : ويحتوي قلب المفاعل على الوقود بحيث يسمح بمرور المبرد وهو الماء العادي خلال قضبان الوقود تحت ضغط عال (٧٠ضغط جوي) وتحت هذا الضغط يتم غليان الماء ويتحول إلى بخار داخل المفاعل ويتم فصل البخار عن الماء ثم تجفيفه بواسطة فاصل البخار ومجفف البخار الموجوديين في الجزء العلوي من المفاعل للوصول به إلى الخواص المناسبة لتشغيل التربينة (٧٠ضغط جوي ، ٠,٢٥% نسبة رطوبة) ، ويتم التحكم في التفاعل النووي بواسطة قضبان للتحكم على شكل ألواح متقاطعة (صليبية) يتم إدخالها من أسفل المفاعل وتتخلل قلب المفاعل ويتم التحكم فيها أتوماتيكياً أو يدوياً .

والوقود عبارة عن حزم بكل منها عدد من قضبان أكسيد اليورانيوم المثري المغلف بسبيكة من الذركونيوم ويصل معدل احتراق هذا الوقود إلى ٢٧ألف ميجاوات يوم / طن يورانيوم ، ويتم إعادة شحن الوقود سنوياً بعد إيقاف المفاعل عن العمل ويتميز هذا النوع من المفاعلات بوجود مضخات نفاثة داخله تقوم بعمل مضخة التبريد .

ب- دائرة التبريد : وهي دائرة مباشرة للتبريد وفيها يتجه البخار الناتج في المفاعل مباشرة نحو التربينة البخارية مولداً قوة الدوران لمولد الكهرباء ثم يمر في المكثف ويتحول إلى مياه تعود مرة أخرى إلى المفاعل ، وتتميز هذه المفاعلات بعدم حاجتها إلى استخدام مولد بخار ، كما إن المفاعل يعمل عند ضغط أقل نسبياً من مفاعلات الماء المضغوط ، إلا أن مفاعلات الماء المضغوط تتميز بوجود فصل لماء دورة التبريد الأولية المعرضة للإشعاعات عن دورة توليد البخار المتجه إلى التربينة مما يعتبر أكثر أماناً .

٣- مفاعلات الجرافيت المبردة بالماء :

يستخدم الجرافيت في هذا النوع من المفاعلات كمهدىء للنيوترونات ، ويستخدم الماء العادي كمبرد ويتكون قلب المفاعل من تجمعات من كتل الجرافيت بداخلها أنابيب تسمى بأنابيب الضغط يوجد بداخلها أعمدة الوقود النووي الذي يمر حوله وداخل هذه الأنابيب ماء التبريد ليتحول إلى بخار يخرج إلى التربينات مباشرة ، ومما يذكر أن مفاعل تشيرنوبل والذي وقعت به الحادثة النووية في ٢٦إبريل ١٩٨٦ ونتج عنه تسرب إشعاعي خطير هو من هذا النوع من المفاعلات ، ولا يوجد مثل هذه المفاعلات إلا في الاتحاد السوفيتي ، ويختلف عن مفاعلات الماء العادي المضغوط ومفاعلات الماء المغلي في عدم وجود وعاء احتواء خرساني يحيط به وبمكونات دورة التبريد بحيث يتحمل الضغط ودرجات الحرارة في حالة الحوادث الطارئة ويمنع بذلك تسرب الإشعاع للبيئة .

٤- مفاعلات الماء الثقيل :

يستخدم الماء الثقيل كمهدىء والماء الثقيل صورة من صور الماء يحل فيها الديوتيريوم محل الهيدروجين ، ويتميز الماء الثقيل بانخفاض قيمة امتصاصه للنيوترونات مما يساعد على زيادة عدد النيوترونات المتاحة لإحداث الانشطارات

وبالتالي فإنه يمكن استخدام اليورانيوم الطبيعي مباشرة ودون الحاجة إلى زيادة نسبة اليورانيوم -٢٣٥

ويستخدم الماء العادي أو الثقيل كمبرد ويمر المبرد على أعمدة الوقود في أنابيب مجوفة تسمى أنابيب الضغط وتكون محاطة بماء المهدىء ، وبذلك فإن المبرد يحفظ تحت ضغط عال داخل هذه الأنابيب دون الحاجة لاستخدام وعاء ضغط . أما المهدىء فإن درجة حرارته تكون أقل من درجة حرارة المبرد لذا فإنه عادة يحفظ عند الضغط الجوي ويتميز هذا المفاعل بإمكانية إعادة شحنه بالوقود دون الحاجة إلى إيقافه .

٥- مفاعلات التبريد الغازي :

بدأ استخدام وتطوير مفاعلات التبريد الغازي في الولايات المتحدة الأمريكية أثناء الحرب العالمية الثانية ، وذلك لتحويل اليورانيوم -٢٣٨ إلى البلوتونيوم -٢٣٩ الذي يستخدم في الأغراض العسكرية ، ويعتبر هذا النوع من المفاعلات نقطة بدء البرامج النووية لكثير من الدول مثل فرنسا وبريطانيا ، ومن أهم الأنواع المعروفة من مفاعلات التبريد الغازي هي :

أ - مفاعلات الماجنوكس .

ب- مفاعلات التبريد الغازي المتقدمة .

جـ- مفاعلات التبريد الغازي عالية الحرارة .

وفي مفاعلات الماجنوكس يستخدم اليورانيوم الطبيعي كوقود ويصنع على شكل أعمدة طولها حوالي متر وقطرها ٢,٥سم ، وترجع تسمية هذا النوع من المفاعلات بالماجنوكس إلى استخدامه لسبيكة الماجنوكس كمادة لأغلفة الوقود ، وتتكون السبيكة من الماغنسيوم والألومنيوم والبريليوم والنحاس ، وتتميز بأنها لا تتآكل بتأثير ثاني أكسيد الكربون المستخدم كمبرد ، ويستخدم الجرافيت كمهدىء ويكون على شكل كتل بها قنوات تدخل بها أعمدة الوقود وتمر بها أيضاً أعمدة التحكم من الصلب المضاف إليه بورن ويبلغ طولها حوالي ٨-١٠ أمتار وقطرها حوالي ٤-٥سم .

أما في مفاعلات التبريد الغازي المتقدم فيستخدم أكسيد اليورانيوم المثرى كوقود ويضع الوقود على شكل اسطوانات قصيرة مجوفة من الداخل وتعبأ هذه الاسطوانات في أغلفة مضلعة مصنوعة من الصلب الغير قابل للصدأ المضاف إليه نسبة من الكروم والنيوبيوم ، ويتميز هذا النوع من المفاعلات بإمكانية شحن المفاعل بالوقود أثناء التشغيل دون الحاجة إلى إيقافه .

أما مفاعلات التبريد الغازي عاليه الحرارة فيستخدم اليورانيوم الذي يحتوي على نسبة عالية جداً من اليورانيوم -٢٣٥ مخلوطاً مع الثوريوم -٢٣٢ كوقود وترجع أهمية استخدام الثوريوم إلى أنه يتحول إلى نظير اليورانيوم -٢٣٣ عند امتصاصه للنيوترونات ، ولأن نظير اليورانيوم -٢٣٣ قابل للانشطار ، فإن تكونه بالمفاعل يعتبر إضافة للوقود الأصلي ويضع الوقود على شكل اسطوانات قصيرة من كربيد اليورانيوم والثوريوم ، مغلفة بالجرافيت وتوضع هذه الاسطوانات في تجاويف بكتل الجرافيت الذي يستخدم كمهدىء .

ويستخدم غاز الهيليوم كمبرد وهو يتميز بأنه غاز خامل لا يتفاعل مع المهدىء مهما ارتفعت درجة حرارته كما أنه لا يمتص النيوترونات وبالتالي لا يتحول

إلى غاز مشع ، ومن الجدير بالذكر أن انشاء هذا النوع من المفاعلات يعتبر عالي التكاليف كما أن معدل احتراق الوقود الذي يستخدم به منخفض .

٦- المفاعلات المولدة السريعة :

يعتمد هذا النوع في بداية تشغيله على اليورانيوم كوقود ثم يحل محله تدريجياً البلوتونيوم المتكون في المفاعل أثناء التشغيل حتى يكون الوقود النهائي للمفاعل هو البلوتونيوم فقط مع اليورانيوم الطبيعي ، ويحاط قلب المفاعل في هذا النوع من المفاعلات أيضاً بغلاف من اليورانيوم الطبيعي أو المستنفذ (أي الذي سبق استخدامه في تشغيل مفاعلات أخرى) ، وترجع أهمية استخدام اليورانيوم الطبيعي أو المستنفذ إلى قدرته المميزة على توليد البلوتونيوم ، وبالتالي توفير وقود إضافي أثناء التشغيل وتعويض احتراق الوقود الأصلي ، ومن هنا جاءت تسمية هذه المفاعلات بالمفاعلات المولدة ، وحيث أن هذه المفاعلات تعتمد في توليد الطاقة على الانشطار النووي بواسطة النيوترونات المنطلقة عند سرعات عالية ، فإنها لا تحتاج إلى استخدام المهدىء مثل المفاعلات الحرارية السابق ذكرها.

ومن أهم مزايا هذا النوع من المفاعلات أنه يستخدم الوقود بكفاءة تزيد حوالي ٦٠ مرة عن الأنواع الأخرى ، وبالتالي فإن استخدامها يساعد على ترشيد استخدام الوقود النووي ، ويقلل من معدل استهلاك الاحتياطي العالمي من اليورانيوم ، ومن أهم أنواع المفاعلات السريعة المولدة هي المفاعلات السريعة المبردة بالمعدن المنصهر .

وفي مفاعل السريع المبرد بالمعدن المنصهر يكون الوقود خليط من أكاسيد البلوتونيوم واليورانيوم مصنعه على شكل أعمدة موضوعة في أغلفة من الصلب الذي لا يصدأ وتجمع قضبان الوقود معاً لتكون حزمة الوقود ذات الشكل السداسي ، ويستخدم الصوديوم المنصهر كمبرد ، وذلك لأن له مقدرة عالية على توصيل الحرارة ، ويحفظ الصوديوم تحت الضغط العادي ، وذلك لأنه لا يغلي في درجات الحرارة العالية التي يصل إليها قلب المفاعل (حوالي ٦٥٠درجة مئوية) ، ولمنع احتمال تلامس الصوديوم المشع مع الماء فإنه يمر إلى دائرة تبريد ثانية تبرد عادة بالصوديوم الذي يتجه إلى مولد البخار لتوليد البخار .

حدود الطاقة النووية وانتاج الطاقة الكهربية :

ووفقاً لبيانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية فإن نسبة الكهرباء المولدة بواسطة الطاقة النووية تقدر بحوالي ١٦% من انتاج الكهرباء في العالم بمقدار ٤٠٠ جيكا واط ، وتحتاج إلى ٣٠ طن يورانيوم -٢٣٥المخصب بنسبة ٣% لتوليد جيكا واط واحد على مدار سنة واحدة في مفاعل الماء الخفيف ، وقد سمى هذا المفاعل بهذا الإسم لأن الماء العادي يستخدم فيه كمبرد كما ويحول إلى بخار بواسطة الحرارة المتولدة من الانشطار النووي في المفاعل ، وحيث أن ٧٥% من المفاعلات العاملة في العالم حالياً هي من مفاعلات الماء الخفيف ، وإذا حدث ما هو محتمل وتم التوصل إلى تحسين أداء قلب (لب) المفاعل بنسبة ١٥% مما يعني أن عمر عناصر الوقود سيصبح أطول ، فإننا عندئذ سنحتاج ٢٠ طن / سنة من اليورانيوم المخصب (يساوي ١٦٠ طن من اليورانيوم غير المخصب لكل واحد جيكا واط / سنة) ، وإذا

كانت هذه الافتراضات المتحفظة صحيحة فإن ما بين ستة إلى سبعة ملايين طن من اليورانيوم – وهو ما يعادل الإمداد العالمي المقدر حالياً – هي ما يلزم لتلبية الاستطاعة لتوليد الكهرباء خلال القرن القادم ، وإذا افترضنا أن الوقود النووي المستهلك لا يعاد استخدامه فإن نفايات الوقود النووي المستهلك المشعة سوف تتراكم. وببساطة فإن انتاج ٤٠٠ جيكا واط سوف يؤدي إلى تراكم ٨٠٠٠ طن نفايات ذرية.

إن تخزين النفايات بهدف التخلص منها عملية غير معقدة تقنياً ، غير أن المعارضة الشعبية لتداول المواد المشعة وتصريفها تحدث دائماً مشكلات قانونية واجتماعية لها أهميتها وإضافة إلى استهلاك مخزون العالم من اليورانيوم وإنتاج جبال من عناصر الوقود المشع في القرن القادم ، فإن تقنية مفاعلات الماء الخفيف لن تنتج إلا كمية قليلة نسبياً من الطاقة الكهربائية إذا ما قورنت بمصادر الطاقة الحرارية (نفط وغاز) حيث تقدر فقط بنسبة ٠,٦% من انتاج الكهرباء ، ومع ذلك فإن المفعول السلبي الخطير لاحترار الأرض greenhouse يعطي حجة قوية نحو المزيد من استخدام الطاقة النووية خاصة إذا ما أمكن حل مسألة السلامة ، ومسألة النفايات الذرية ، وينادي العلماء بتخفيض سنوي لانتاج ك أ ٢ بمعدل ٢٠% بحيث يهبط من ٦بلايين طن من الكربون سنوياً إلى ٤,٨ بليون طن ، ويكون ذلك بزيادة كفاءة استخدام الطاقة وإلى التحول من استخدام الفحم إلى استخدام الغاز الطبيعي وإلى اعتماد أكبر على الطاقة الشمسية وعلى إحراق الكتلة الحيوية biomass وما تبقى من احتياجات يترك للطاقة النووية .

الطاقة النووية وسلامة البيئة :

ومع بداية الصناعة النووية في الخميسنات من القرن الحالي أوليت مسائل السلامة النووية أهمية خاصة إلا أن مفهوم السلامة قد تغير فالتوجه الغالب الآن هو تبني مصطلح التحليل الاحتمالي للمجازفة ، وأصبح تحليلاً مقارناً فمثلاً المقارنات بين تصاميم المفاعلات النووية قادت بنجاح إلى تشخيص العيوب فيها ومن ثم إلى تصحيحها ، ومثل هذه التحاليل حساسة جداً ومعقدة بشأن تشخيص احتمال انهيار السلامة ، وبتطبيق هذا الإسلوب في التحليل على تصاميم المفاعلات النووية الحديثة.

يقدر المهندسون أن انصهاراً رئيسياً لقلب المفاعل يمكن أن يقع مرة فقط كل عشرون ألف سنة ، وإذا حدث أن انصهر قلب المفاعل فإن احتمال انطلاق النشاط الإشعاعي من المفاعل يمكن تخفيضه إلى أبعد من ذلك اذا ما صممت حاويه جيدة تحيط بالمفاعل ، والمقارنة بين حادث مفاعل تشيرنوبل وحادث جزيرة ثرى مايل تشير إلى مدى أهمية وجود حاوية للمفاعل حيث لعبت الحاوية في حالة مفاعل ثرى مايل دوراً مهماً في الحد من تسرب النشاط الإشعاعي ، إذ لم يتسرب منه إلا القليل في يوم وقوع الحادث بتاريخ ١٩٧٩/٣/٢٨ ، لكن في يوم ١٩٨٦/٤/٢٦ عندما وقع حادث تشيرنوبل ، انطلق تلوث اشعاعي هائل بسبب عدم وجود حاوية إلى الغلاف الجوي .

هل الطاقة النووية فعلا طاقة نظيفة

تقوم الصناعة النووية بجهود دعائية ضخمة لاثبات ان الطاقة النووية هي الترياق للحد من الغازات المسببة لسخونة سطح الارض على المستوى العالمي. و يوجد في الوقت الحاضر ما يزيد قليلا على ٤٤٠ مفاعلا نوويا قيد التشغيل في العالم.و اذا كان مقررا كما تقترح الصناعة النووية ان تحل الطاقة النووية محل الوقود الحفري على نطاق واسع، فسيلزم بناء ٢٠٠٠ مفاعل ضخم بقدرة ١٠٠٠ ميجاوات و اذا اخذنا بعين الاعتبار انه لم يصدر امر بانشاء مصنع نووي في الولايات المتحدة منذ عام ١٩٧٨ يصبح هذا الاقتراح غير عملي.

و لا يتم مطلقا تقديم تفسيرات كاملة للوفورات الحقيقية من الصناعة النووية. حيث تدعم الحكومة الامريكية ماليا تكلفة اثراء اليورانيوم كما ان مسؤلية الصناعة النووية في حال وقوع حادث ما مدعومة ماليا- حيث تغطي الحكومة الفيدرالية الامريكية ٩٨% من مسؤولية التأمين. تقدر تكلفة تفكيك جميع المفاعلات النووية في الولايات المتحدة ب ٣٣ بليون دولار هذه التكاليف بالاضافة الى النفاقات الباهظة التي تنطوي عليها عملية تخزين نفايات المواد المشعة لربع مليون سنة ليست مدرجة ضمن التقييمات الاقتصادية للكهرباء النووية.

في الولايات المتحدة حيث يتم اثراء الكثير من يورانيوم العالم بما في ذلك يورانيوم استراليا يحتاج مرفق الاثراء في بادوكا بكنتاكي الى قوة خرج كهربائية لمصنعين يعملان بالفحم بقدرة الف ميجاوات و هما يبعثان كميات كبيرة من ثاني اكسيد الكربون و هو الغاز المسئول عن ٥٠% من سخونة الارض. كما ان مرفق الاثراء هذا مع مرفق اخر في بورتسماوث باوهيو يخرجان من المواسير الراشحة ٩٣% من غاز الكلوروفلوروكربون المنبعث سنويا في الولايات المتحدة. و في الوقت الحاضر هناك حظر دولي فرضه بروتوكول مونتريال على انتاج و اخراج غاز الكلوروفلوروكاربون CFC لانه المتهم الرئيسي و المسئول الاول عن نضوب الاوزون في غلاف الاحترار بطبقة الجو العليا. و لكن غاز CFC هو ايضا من عوامل سخونة سطح الارض و رفع درجة حرارتها ففاعليتها ثاني اكسيد الكربون بنسبة تتراوح من عشرة الاف الى عشرين الف مرة.

و في الواقع تستخدم دورة الوقود النووي كميات هائلة من الوقود الحفري في كافة مراحلها من تعدين الى طحن اليورانيوم و انشاء المفاعل النووي و ابراج التبريد و التفكيك الالي للمفاعل النشط و كثيف الاشعاع في نهاية دورة حياته التشغيلية التي تمتد من ٢٠ الى ٤٠ سنه.

و في ايجازو بحسب دراسة اجراها جان ويلييم ستورم فان ليوين و فيليب سميث عام ٢٠٠٤ فان الطاقة النووية تنتج غازات الدفيئه و المسببة للاحتباس الحراري باقل ثلاث مرات فقط مما تنتجة المحطات الحديثة بالغاز الطبيعي. على النقيض من دعاية الصناعة النووية ليست الطاقة النووية سليمة بيئيا و هي بالتاكيد ليست نظيفة اشعاعيا. كما ان الموضوع الملح المتعلق بالكميات الهائلة من نفايات المواد المشعة التي تخلفها المفاعلات النووية الزائدة البالغ عددها ٤٤٠ مفاعلا في العالم نادرا ما تعالجه الصناعة النووية ان قامت بالفعل بمعالجته فكل مفاعل نووي نموذجي بقدرة ١٠٠٠ ميجاوات ينتج سنويا ٣٣ طنا من نفايات المواد المشعة المكثفة و شديده الحرارة. و طبقا لما كتبته هيلين كالديكوت بمجلة الوكالة الدولية

للطاقة الذرية (سبتمبر ٢٠٠٥) هناك بالفعل اكثر من ٨٠ الف طن من نفايات المواد شديدة الاشعاع تقبع في احواض تبريد مجاورة لمصنع الطاقة النووية الامريكية البالغ عددها ١٠٣ مصنع، بانتظار نقلها الى مرافق لتخزينها فيه و الذي يجب حتى الان البحث عنه و تحديده هذه المواد الخطرة ستكون هدفا مغريا لاعمال التخريب الارهابية (كما في افلام الخيال العلمي) نظرا لنقلها خلال ٣٩ ولاية عبر الطرق و خطوط السكك الحديدية على امتداد الخمسة و عشرين عاما القادمة. و تشير دراسة اجرتها الاكادمية الوطنية للعلوم الى ان احواض التبريد في المفاعلات النووية عرضة لهجمات مفجعة على يد الارهابيين، و التي يمكن ان تفتح ابواب الجحيم و تطلق كميات هائلة من الاشعاعات المميته و التي ستكون اسوء كثيرا من الاشعاعات التي اطلقها مفاعل تشيرنوبل و ذلك بحسب قول بعض العلماء.

و لا يزال التخزين طويل المدى لنفايات المواد المشعة يشكل مشكلة اختار الكونجرس الامريكي في عام ١٩٨٧ جبل يوكا في نيفادا و الذي يقع على بعد ١٥٠ كيلو مترا شمال غرب لاس فيجاس ليكون مخزن امريكا لنفايات المواد العالية المستوى الاشعاعي، الا انه تبين انه غير مناسب للتخزين الطويل المدي و ذلك لانه جبل بركاني مكون من احجار بركانية خفيفة و مسامية و يقطعه ٣٢ تصدعا زلزاليا.

و البلوتنيوم هو من اخطر العناصر التي تصنع في مصانع الطاقة النووية،كما ان البلوتنيوم هو ايضا وقود الاسلحة النووية–فيلزم خمسة كيلو جرامات فقط منه لصنع قنبلة نووية و كل مفاعل يصنع اكثر من ٢٠٠ كيلو جرام في السنة. ولهذا السبب لاتسمح قوي الغرب ان تمتلك البلاد الاسلاميه هذه المفاعلات وتحبط اي محاولة لانشاء مفاعلات القوي لهذا السبب ووضعت المعاهدات الدوليه لتقييض حركه اي دولة تطمح في امتلاك هذة التقنيات في حين تتمتع بها فقط دول النادي النووي الثمانية ومعهم اسرائيل. و لذلك فكل دولة لديها مصنع للقوى النووية تستطيع نظريا تصنيع ٤٠ قنبلة في السنة.

تورث الطاقة النووية لجميع الاجيال القادمة ارثا من السموم لانها تنتج الغازات المسببة لسخونة سطح الارض مما يرفع درجة حرارتها و لانها اغلى بكثير جدا من اي شكل اخر من اشكال توليد الكهرباء كما يمكن ان تعجل بنشر الاسلحة النووية.

هذه وجهة نظر المعادين للطاقة النووية اما المؤيدون فلهم رأي اخر يمكن ايجازه فيما يلي نقلا عن نيكولاس كريستوف بمجلة النيويورك تايمز(ابريل ٢٠٠٥) فيقول انه (علي النقيض من مصادر انتاج الطاقة المتعددة لا تنتج الطاقة النووية غازات الدفيئة (المسببة للاحتباس الحراري) وخلال الخمسة وعشرون سنة القادمة سوف يزداد الطلب العالمي علي الطاقة بنسبة ٦٠% بحسب ما ذكرتة الوكالة الدولية للطاقة ويبدو ان الطاقة النووية هي الانظف بيئيا والرهان الافضل لسد هذه الاحتياجات خاصة مع ارتفاع اسعار العالمية للنفط واحتمالات نضوبة.

والطاقة الشمسية كمصدر لانتاج الكهرباء هي خيبة امل فلا تزال تمد الولايات فقط بخمس بنسبة ١% من كهرباء الدولة مع ان تكلفتها تزيد عن تكلفة المصادر الاخري بنحو خمسة امثال، وطاقة الرياح واعدة فقد انخفضت تكلفتها بنسنة ٨٠% الا انها تعاني من مشكلة عدم استمرار الرياح ومن الصعب الاعتماد علي مصدر غير ثابت، ان اكبر مصدر رئيسي للقدرة الكهربية في امريكا حتي الان هو الفحم الذي يقتل

٢٥ الف شخص في العام (٦٠ شخص يوميا) من خلال السخام المنشر في الهـواء. اما المصدر الوحيد الذي لا ينطوي علي اية انبعاثات كربونية فهو المحطات المائية الا ان السدود وتاثيراتها علي البيئة تحتم عدم اضافة اي سدود جديدة.

وعلي النقيض تشكل الطاقة النووية بالفعل ٢٠% من القدرة الكهربائية فـي امريكا ناهيك عن ٧٥% من القدرة الكهربائية في فرنسا واصبح لدي العـالم خبـرة نصف قرن مع مصانع الطاقة النووية وقد اثبتت انها مأمونه اكثر من الحلول البديلـة علاوة علي هذا اصبحت التكنولوجيا النووية علي مر السنين اكثر أمانا الي حد بعيـد وقد يكون المستقبل لمفاعلات الطبقات الحصوية وهو تصميم جديد يعد بـأن يكـون شديد الفاعلية وغير قابل للانصهار.

ويتسأل الكاتب هل الطاقة النووية مأمونة ويجيب ليس تماما فقـد اوضـحت حادثتي جزيرة الاميال الثلاثة وحادثة تشرنوبل ان هناك مخاطر كمـا تمثـل نفايـات المواد المشعة تحديا كبير ولكنه يتسأل ايهم افضل اثقال كاهل الاجيال القادمة بالنفايات النووية الملقاة في ابار عميقة افضل ام اثقال كاهلهم بعالم اكثر سخونة تغمـر ميـاة المحيطات كل الوديان وتغطي مانهاتن بعمق ٢٠ قدم.

وتشير دراسات معهد ماساشوسيتس للتكنولوجيا الي ان الطاقة النووية لاتزال اغلي قليلا من مصانع الفحم او الغاز الطبيعي ولكنها تكون فـي نفـس المعـدل اذا ارتفعت اسعار الوقود الحفري واذا فرضت ضريبة علي الانبعاثات الكربونيـة بمقـدار ٢٠٠ دولار للطن ستصبح الطاقة النووية ارخص من الفحم . لذا فقد حـان الوقـت للترحيب بالطاقة النووية باعتبارها غير ضارة بالبيئة)

إن تقانه كفاءة الوقود والمتوفرة حالياً تتمثل في المفاعلات المولودة السريعة ، وقد سميت كذلك لأنها تنتج وقوداً أكثر مما تستهلك ، وذلك بتحويل اليورانيوم غيـر الانشطاري إلى بلوتونيوم انشطاري ، وهذه المفاعلات تستخلص طاقـة أعلـى ١٠٠ مرة من المفاعلات الماء الخفيف .

وهناك تقنيات نووية أخرى لم تتخطى بعد عتبة الجدوى العلمية تحمـل آمـالاً ووعوداً كبيرة في انتاج الطاقة أهمها الاندماج النووي ، والاندماج النووي هو اتحـاد نويات الذرات الخفيفة معاً لتكوين نويات ذرات أثقل ، والأساس الذي يعتمد عليه توليد الطاقة من تفاعلات الاندماج النووي والانشطار على حد سواء هو فقد جزء من الكتلة وتحويله إلى طاقة طبقاً لمعادلة الطاقة (ط = ك × ع٢) حيث ط كمية الطاقة بالجول والناتجة عن تحول كتلة مقدارها ك (كجم) ، ع هي سرعة الضوء وتـساوي ٣٠٠ مليون متر / ث) ، وتظهر الطاقة عادة كطاقة حركية لنواتج التفاعل الجديدة تتحـول إلى حرارة ثم إلى كهرباء ويحدث تفاعل الاندماج النووي بصفة مستمرة في الـشمس والنجوم الأخرى وهو المسئول عن الحرارة التي نشعر بها فوق سطح الكرة الأرضية التي لا يمكن استمرار الحياة بدونها ، وفي هذا التفاعل تتحـرك ذرات الهيـدروجين بسرعات هائلة بسبب درجات الحرارة العالية حتى أنها تندمج عندما تصطدم بعـضها ببعض وتتحول بالتدريج إلى ذرات الهيليوم .

إن تجربة مفاعل توكا ماك المقامة برغبة دولية مشتركة (مشروع مـشترك قامت به الولايات المتحدة وروسيا وأوروبا واليابان) تنبىء بأنه في وسـط القـرن القادم سيصبح الاندماج النووي على الأغلب متاحاً تجارياً .

كيفية الحصول على تفاعل اندماجي :

لكي تحدث التفاعلات الاندماجية يجب أن تتحرك الجسيمات الذرية بسرعات هائلة قبل تصادمها ، ويمكن الحصول على هذه السرعات بتسخين الجسيمات إلى درجات حرارة عالية جداً تصل إلى ١٠٠ مليون درجة مئوية ، وقبل الوصول لهذه الدرجة تتخلص الذرات من الكتروناتها ، وتصبح خليطاً من الأيونات الموجبة الشحنة والالكترونات الحرة وتسمى البلازما ، وتوجد البلازما في مصابيح الفلورسنت المتوهجة ، أما البلازما عند درجات الحرارة العالية فإنه يمكن أن تحدث بها تصادمات اندماجية ولكن من الصعب توفير ظروف تخليق هذه البلازما ، وعند تكون البلازما علىدرجة عالية جداً من الحرارة ولكن نظراً لكتلتها الصغيرة جداً فإذا ما مست جدار الوعاء الذي يحتويها مسوف تبرد في الحال وستنتهي امكانية حدوث التفاعل الاندماجي ، ورغم ذلك فإن درجة حرارة الوعاء الحاوي لن ترتفع إلا قليلاً لأن كتلته وسعته الحرارية كبيرة جداً بالمقارنة بالبلازما ، لذلك يجب الاحتفاظ بالبلازما بعيداً عن جدران الوعاء الحاوي لها وهذا غير ممكن إلا عن طريق نظرية استخدام بلازما مركزة أو عالية الكثافة بحيث يحدث التفاعل الاندماجي سريعاً وقبل هروب أيونات البلازما.

وتجري الآن تجارب في أماكن مختلفة من العالم لمحاولة تطبيق هذه النظرية باستخدام أشعة الليزر الكثيفة أو الجسيمات المشحونة لضغط الوقود إلى كثافات عالية للغاية مع تسخينه في الوقت نفسه إلى درجة حرارة التفاعل النووي الاندماجي ، ومع ذلك فإن الطريقة المفضلة في معظم دول العالم المتقدمة للحفاظ على البلازما هي استخدام المجال مغناطيسي . فلو سلطنا مجالاً مغناطيسياً على البلازما أو هذه الجسيمات المشحونة المتحركة فإنها لن تتحرك عشوائياً ، وإنما ستدور حول خطوط المجال المغناطيسي.

وقد ابتكرت نظم كثيرة ومعقدة للمجال المغناطيسي المستخدم لحفظ البلازما أحدها وهو نظام التوكاماك الذي يستخدم فيه مجالين مغناطيسين متعامدين ، وتؤثر القوة الناتجة على الجسيمات أو البلازما ، فتجعلها تسلك طريقاً لولبياً حول خطوط المجال كما تحصر البلازما وتحفظها بعيداً عن جدران الوعاء الحاوي لها .

وتدرس حالياً أيضاً سبل استخراج الطاقة من المفاعل فالنيوترونات التي تخرج بسرعات عالية نتيجة الاندماج النووي لن يحفظها المجال المغناطيسي بلا شحنة كهربية وهذه النيوترونات تصطدم بطبقة الليثيوم التي تحيط بالبلازما ومن ثم ترفع درجة حرارته وتنتقل حرارة الليثيوم السائل إلى الماء الذي يتحول إلى بخار ويستخدم البخار في توليد الكهرباء وهناك فائدة أخرى من استعمال الليثيوم ، وهو أنه باصطدام النيوترونات به يتحول بعضه إلى تريتيوم وهو أحد مكونات الوقود الضرورية للتفاعل الاندماجي ويلزم فصله لإعادة استخدامه .

وخلافاً للتصورات الشائعة فإن تقانات الاندماج القائمة ليست نظيفة بطبيعتها لأن النيوترونات تفلت منه وبالتالي تجعل المواد المحيطة والمفاعل ذاته نشيطة اشعاعياً ولكن هناك تقانات الاندماج الأخرى التي تشمل دورات وقود متطورة قد تكون فقيرة في النيوترونات أو خالية منها فتسمح للاندماج النووي بأن يصبح مصدراً نظيفاً للطاقة .

ويمكن أن تقدم يوما ما مفاعلات هجينة تجمع الانشطار مع الاندماج النووي إذ تُمتص النيوترونات الخارجة من تفاعلات الاندماج ببطانة من مادة قابلة للانشطار حيث تقوم هذه بدورها بتحويل اليورانيوم الطبيعي أو عناصر أخرى إلى مادة انشطارية .

ومع أن إنشاء ٢٠٠٠ مفاعل اضافي في العالم أمر ممكن تقنياً ، إلا أن هناك هوة واسعة بين هذه الأمكانية وبين الضغوط السياسية والمجتمعية . لقد أصدرت الهيئة العالمية للبيئة والتنمية تقديراً عام ١٩٨٧ بعنوان (مستقبلنا المشترك) اعترفت فيه بإمكانات الطاقة النووية إلا أنها اشترطت أن يكون هناك اجراءات إنذار مبكر في حالة وقوع حادث نووي ، وكذلك وجود تدريب على الاستجابة لحالات الطوارىء وأنظمة لنقل المواد المشعة ومعايير تتبع لتدريب المشتغلين واجراءت الترخيص ، وتشريعات لتشغيل المفاعلات وقواعد السلامة وتقارير عن عمليات تفريغ الوقود وإعادة معالجته ، وأسساً لاختيار المواقع ومواصفات لمخازن النفايات ، وإجراءات لإزالة التلوث وتفكيك التجهيزات ومما له دلالته أن هذه الاهتمامات ليست تقانية فقط وإنما مؤسساتيه أيضاً .

وينادي كثيراً من العلماء والمفكرين بأن تتولى جهة دولية إدارة الطاقة النووية عالمياً لضبط الجودة والتشغيل الدقيق الصارم وإعادة المعالجة والتخلص من النفايات ، هذه الفكرة فكرة الإدارة الدولية للطاقة النووية تم طرحها لأول مرة منذ عام ١٩٤٦ في خطة باروخ – اتشيسون وفي عام ١٩٧٠ تم وضع معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية والتي انضمت لها ١٤٠ دولة عام ١٩٩٠ وأنشىء بموجبها نظام الضمانات العالمي الذي تديره الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، وقد تم تمديد معاهدة عدم انتشار الاسلحة النووية تمديدا نهائيا وذلك في نيويورك عام ١٩٩٥ ، واذا كنا نطالب بضرورة اخلاء المنطقة والعالم من أسلحة الدمار الشامل الا أننا ندعوا لاستخدام المحطات النووية لتوليد الطاقة باعتبارها هدفا اقتصاديا واستراتيجيا وباعتبارها فرصة لحشد قوانا البشرية والعلمية للحصول علي الخبرة والتقنية في المجال النووي.

وللمفاعلات النووية فوائد أخرى غير توليد الكهرباء فبعض هذه المفاعلات تستخدم في تحضير بعض النظائر المشعة التي لا توجد في الطبيعة وتستعمل هذه النظائر المشعة في الطب لعلاج بعض الأمراض وفي اكتشاف بعض الأورام وتدمير بعض الخلايا السرطانية ، كذلك يمكن استخدام هذه النظائر في كثير من دراسات وبحوث التفاعلات الكيمائية والبيولوجية لمتابعة سير هذه التفاعلات وفهم بعض ما يدور فيها كما سنوضح بالتفصيل في مقالات تالية ، كذلك استخدمت بعض هذه النظائر المشعة في الصناعة للكشف عن بعض الأخطاء التي قد تحدث في عمليات التصنيع ، أو للكشف عن بعض الشروخ الدقيقة في اللحامات المعدنية .

المحركات النووية :

يعتبر الاختيار النووي اختيارا منطقيا لايجاد مصادر الطاقة ذات الحيز المحدود نسبيا واللازمة لوسائل الانتقال المكلفة بقطع مسافات كبيرة دون الحاجة لاعادة التزود بالوقود ، ومن أنجح التطبيقات في هذا المجال استخدام المحركات النووية في العائمات البحرية وبخاصة في الغواصات وحاملات الطائرات ، كما أن المولدات الحرارية الكهربية المستعينة بنظير البلوتونيوم-٢٣٨ توفر الطاقة الكهربية اللازمة لسفن الفضاء ، وتتواصل البحوث والتطويرات علي مفاعلات للطائرات والصواريخ أملا في استخدامها في رحلات مستقبلية.

مفاعلات المحركات البحرية :

يرجع الفضل في تطور الاسطول الامريكي العامل بالطاقة النووية الي أمير البحر " ريكوفر " الذي أتسم بشخصية ادارية حازمة وفاعلة ، وتمتاز الغواصات العاملة بالطاقة النووية بقدرتها علي السفر لمسافات بعيدة دون الحاجة لاعادة التزود بالوقود ، وتستطيع أن تظل تحت سطح الماء ما شاءت لانها لاتحتاج الاكسجين في عمل مولدها النووي ، وكانت الغواصة نويتلس Nautilus وهي باكورة الغواصات النووية وتم تدشينها في عام ١٩٥٥ وفي عام ١٩٨٠ تم تحويلها الي متحف شاهد علي هذه الحقبه المتطورة في تاريخ البحرية العالمية.

وعلي مر الاعوام تنامي الاسطول الامريكي بسرعة وفي عام ١٩٨٦ بلغ ١٣٤ غواصه عاملة و٩ ناقلات و ٤ حاملات طائرات ، الي جانب ذلك انتجت الولايات المتحدة الامريكية سفينة شحن مدنية واحدة تعمل بالطاقة النووية وقد عملت بنجاح في أوائل الستينات بين العديد من الدول لخدمة التجارة بينها ، ولقد كان لبرنامج الاسطول النووي مردودا تجاريا جيدا لانه أثبت فعالية المفاعلات العاملة بالماء المضغوط ووفر عددا من الكفاءات الفنية للصناعة من بين من تقاعد أو فقد وظيفته في برنامج الأسطول.

المفاعلات الفضائية :

بدأ مشروع تطوير محرك طائرات يعمل بالطاقة النووية في نفس توقيت البدء في تطوير المحركات البحرية تقريبا وفي نفس المنطقة أيضا ، ففي عام ١٩٤٦ في أوك ريدج وضعت الاسس لبرنامج نقل السلاح النووي بواسطة طائرات أسرع من الصوت بعيدة المدي (١٢٠٠٠ ميل) لاتحتاج لاعادة تزود بالوقود ، غير أن المشروع تعرض لمتاعب عدة ولزم نقله واعادة توجيه سياساته وتغيير ادارته ، كما اصطدم المشروع بمصاعب فنية مثل ضرورة تأمين طاقم الطائرة ووقايته والي غير ذلك مما أدي الي ايقافه ، وقد جاء في التقرير النهائي تحديد ثلاث قضايا هامة عجز البرنامج عن الوفاء بها بالرغم من نجاحه الجزئي في بعضها وهي : الحاجه الي طائرة أكبر مما كان متوقعا والتحسينات اللازمة للمحركات النفاثه العاملة بالوقود الكيميائي وأخيرا اختيار الصواريخ العابرة للقارات الحامله للسلاح النووي. ولقد شهد البرنامج مايمكن تسميته " بعودة الروح " عام ١٩٦١ عندما قرر الرئيس الامريكي جون كيندي برنامجا يستهدف الهبوط علي سطح القمر بمركبه مأهولة ، واذ

تتصف رحلة كهذه بالحاجه الي طاقة كبيرة كان الوقود النووي الخفيف الـوزن هـو الاختيار المنطقي لتوفير الطاقة الكهربية والدفع ، وقـد تـم بـين عـامي ١٩٥٥ ، ١٩٧٠ تطوير نظام حراري كهربي يشتمل علي وقـود مـن اليورانيـوم وهيدريـد الزركونيوم وسائل الصوديوم – بوتاسيوم كمبرد ، وقد تم اختبار النظام علي الارض لمدة ١٠ الاف ساعة وتم استخدامه في أحد الاقمار الصناعية لمـدة ٤٣ يـوم عـام ١٩٦٥ ، الا أن النظام الذي حاز الاهتمام الاكبر في برنامج الفـضاء اعتمـد علـي الهيدروجين السائل حيث تم تسخينه الي درجة عالية بعبورة كغاز من خـلال فتحـات المفاعل وحيث يعمل الجرافيت كمهديء ويعمل اليورانيوم المثري كوقـود ، ويقـوم الهيدروجين بدور الدافع للمركبة عند خروجه من فتحة العادم ممايؤدي الـي خفـض زمن الطيران وتقدر فعاليته في ذلك بمقدار ضعف فعالية الوقود الكيميائي التقليـدي ، كما تم التوصل الي نظم أخري منها ما حقق قدره ٤٠٠٠ ميجاوات لمدة ١٢ دقيقة ، الا أن البرنامج بالرغم من نجاحاته تم وقفه عام ١٩٧٣ بسبب تغيرات لحقت ببرامج وكالة الفضاء الامريكية " ناسا " .

مرت سنوات حتي بدأت دراسة في لوس الاموس في عـام ١٩٧٩ تـستهدف تصنيع مفاعل فضائي يمكنه اعطاء قدره ١٠٠ كيلووات ، وقد اعتمد المشروع علـي الانابيب الساخنه حيث يتم تبخير سائل عند طرف ليتكثف عند الطـرف الاخـر مـن الانبوبة وليحدث تدفق معاكس بفعل الخاصة الشعرية علـي امتـداد جـدار الانبوبـة الداخلي ، وتمتاز الفكرة بعدم اعتمادها علي التحريك الميكانيكي بقصد نقل الحـرارة ، وقد تأسس التصميم الاولي علي استخدام وقود اليورانيوم شديد الثراء (٩٣%) فـي هيئة UO_2 مع وجود طبقات من سبيكة الموليبدنم بـين الـواح الوقـود المتراصـة وتتواجد أنبوبة التسخين المركزية كما يستخدم الليثيوم كمبرد ، كما يـستعمل اكـسيد البريليوم كعاكس وله اسطوانات تحكم دوارة بقطاعات من كربيد البـورون ، وتـشع الحرارة من أنابيب التسخين الي محولات حرارية كهربية ، ويتحول مقدار حوالي ٧% من الطاقة الحرارية الي الكهربية بينما يشع الباقي الي الفـضاء ، ولتجنـب حـدوث متاعب خلال عملية الاطلاق يتم استخدام غالق مركزي من البورون –١٠ بـدلا مـن اكسيد البريليوم وعند بداية تشيل المفاعل.

في عام ١٩٨٣ تشكل برنامج للاستخدام النووي فـي الفـضاء جمـع ثـلاث مؤسسات كبري من بينها " ناسا " ليواجه احتياجين محدودين اولهما التوصـل الـي مفاعل يعطي قدرة في النطاق بين ١٠٠ كيلو وات و١ ميجا وات ولفترة عمر تبلـغ سبع سنوات وبوزن يقل عن ٧٥٠٠ كجم وبحجم مناسب لحمولة مكـوك الفـضاء ، وثانيهما التوصل الي مفاعل بقدرة عدة ملايين وات قادر علي اعطاء الطاقـة بـشكل منتظم أو اندفاعي ، ورشح لذلك المفاعلات المبردة بالغـاز والمفـاعلات الحراريـة الايونية والمفاعلات السريعة المبردة بالسوائل والغازات وتشترك البحوث الحكوميـة والصناعية من أجل اختيار الامثل من بينها لتطويره ، وتشتمل الدراسات علي تقـويم الوقود النووي والمواد المستعملة والادارة الحرارية وتحويل الطاقة.

المحركات الفضائية :

يجري استخدام انواع من الوقود الكيميائي لاطلاق واستعادة المركبات الفضائية ومنها المكوك الفضائي ، الا أن الرحلات الطويلة بين الكواكب تحتاج التزود بالطاقة الكهربائية اللازمة للتحكم والاتصال لمدد تبلغ سنوات وهنا تبرز أهمية الطاقة النووية ، ولقد تم تطوير المولد الحراري ذي النظير المشع واستخدم بنجاح في ١٨ رحلة ، حيث استخدم مواد مشعة طويلة العمر للامداد بالحرارة التي تتحول الي طاقة كهربائية ، ويتصف مصدر الطاقة هذا بمواصفات مرغوبة :

أ – خفة الوزن ومحدودية الحجم بما يتلاءم مع المساحة المتاحة في المركبة الفضائية .

١. طول عمر الأداء.
٢. الإنتاج المتواصل للطاقة .
٣. مقاومة التأثيرات المحيطة مثل البرودة والاشعاع وغيرها.
٤. الاستغناء عن الطاقة الشمسية بما يسمح بزيارة الكواكب البعيدة.

والنظير المشع المستغل لهذا المولد هو البلوتونيوم –٢٣٨ وفترة نصف عمره تبلغ ٨٧ر٧ سنة ويشع جسيمات ألفا بطاقة ٥ر٥ مليون الكترون فولت ، وتتيح هذه الخواص نشاطية عالية تبلغ ١٧ كوري / جرام ونسبة مرغوبة بين الطاقة والوزن تبلغ ٥٧ر٠ وات / جرام وقد استعانت رحلة ابوللو–١٢ الي القمر بمولد من هذا النوع لتشغيل مجموعة من الاجهزة العلمية لقياس المجالات المغناطيسية والتراب والرياح الشمسية والانشطة الزلزالية ، كما استخدم هذا الطراز من المولدات في رحلات ابوللو عامي ١٩٦٩ ، ١٩٧٧ وفي رحلة فايكنج عام ١٩٧٥ تم استخدام مولد أصغر ساهم بفعالية في ارسال صور سطح كوكب المريخ الي الأرض.

وقد تلي ذلك دخول الطراز المتقدم من المولدات والمسمي عديد مئات الوات الذي زود المركبتين فويجر بطاقتهما الكهربائية الكاملة ، ويرجع الفضل في تصنيعه الي معمل المحركات النفاثة التابع لوكالة الفضاء الامريكية " ناسا " وقد تم اطلاق المركبتين في صيف عام ١٩٧٧ ووصلا كوكب المشتري عام ١٩٧٩ ثم زحل عام ١٩٨١ وارسلتا صورا لاقمار الكواكب وحلقاته ، ثم تم توجيه فويجر١ الي خارج المجموعة الشمسية ، أما فويجر ٢ فقد امكن استثمار وقوع ثلاثة كواكب علي خط مستقيم في توجيه فويجر٣ لزيارة كوكب أورانوس في يناير ١٩٨٦ ، وقد جري علي أثر ذلك اكتشاف أقمار جديدة للكوكب وتبين أهميتها في استقرار حلقات الكوكب بفعل جاذبيتها ، وقد وصلت فويجر٢ الي كوكب نبتون في عام ١٩٨٩ ثم اتجهت بعد ذلك الي اغوار الفضاء خارج المجموعة الشمسية ، ويستخدم مولد عديد مئات الوات السليكون – جيرمانيوم كمادة حرارية كهربية ، ويعد أثقل وأن كان أقوي من سابقه ، ويدخل المولد في أقمار لينكولن التجريبية التي مكنها اجراء الاتصال ببعضها البعض وبينها وبين السفن البحرية والطائرات.

وفي التسعينات تم تزويد المركبة جاليليو التي توجهت الي كوكب المشتري وحصلت علي عينة من سطحه بمولد حراري متعدد الاغراض ، واتجهت الانظار الي مولدات طاقة قادرة علي تغذية الرحلات الاطوال في المستقبل وتعمل بفعل تسخين لسائل عضوي **Downtherm A** بواسطة بواسطة مصدر مشع مما يؤدي الي تكون

بخار يحرك توربين متصل بالمولد الكهربي ، وتعرف تلك المولدات اختصارا DIPS ، وقد تم تجريبها علي الارض لمدة ٢٠٠٠ ساعة متواصلة دون هبوط في الأداء.

تطبيقات طبية للمولدات النظائرية :

تعد المولدات العاملة بالنظائر المشعة أملا واعدا في ميدان التطبيقات الطبية ومن أهمها تشغيل منظم ضربات القلب والذي يعطي نبضات كهربية صغيرة تنظم ضربات القلب ، فالمنظم ذو المئات المعدودة من الميكرووات والمزود بطاقة من كميات صغيرة من البلوتونيوم-٢٣٨ سيعيش عديد من السنوات ويتفوق علي تلك المنظمات العاملة بالبطاريات والتي تحتاج في استبدالها الي عمليات جراحية ، وطول العمر الذي تتصف به تلك المولدات يجذب الانتباه الي امكان استخدامها في تصنيع منظم المخ الذي يوقف نوبات الصرع.

وقد ساعد نجاح مولدات الطاقة اللازمة للتطبيقات الفضائية في الاسراع بوضع برامج لتطوير قلب صناعي يعمل بالطاقة النووية ، والمكونات الاساسية لمثل هذاالنظام هي :

أ – مولد حرارة وقدرة ٣٢ وات بالنظير بولوتونيوم – ٢٣٨
ب – محرك يعمل كمحول حراري يستخدم الارجون كمانع تشغيل.
ج – مضخة ميكانيكية للدم.
د – شرايين صناعية بلاستيكية.

ويتيح النظام قدرة ٣ وات لدوران الدم ، الا أن البرنامج الاساسي أوقف ويظن أن هذا الايقاف لن يطول لان امراض القلب أصبحت القاتل الاول في العالم ، ومما لاشك فيه أن قلبا صناعيا يعمل بالوقود النووي صغير ومحدود المكونات ويسهل حمله سيستطيع اسدال الستار علي معاناة المرضي في تعاملهم مع القلوب الصناعية الميكانيكية التي تعوق حركتهم وأصبحت اقل نجاحا في انقاذ حياتهم من عمليات زرع القلب .

البرنامج النووي المصري

سوف اتناول هذا الموضوع الشائك والذي لم تنشر فية المواقف الحقيقية حتي الان وان كل من تناول هذا الموضوع في العلن لايقول الصدق علي غرار انا لا اكذب ولكني اتجمل فهناك تكتم واضح علي اية تفاصيل وتعتيم علي الحقائق والمواقف و احب ان اوضح انني سوف اتناول هذا الموضوع بصفتي قارئ علمي وليس بصفتي الوظيفية وسوف اعرض ماتم نشره من مصادر حكومية رسمية موثقة مع توضيح المدفون بين السطور من واقع مانشر في مجلات دولية او محاضرات خاصة ومؤتمرات عقدتها هيئة الطاقة الذرية المصرية ومما يثير العجب انه في احد زيارات خبير من وكاله الطاقة الذرية الدولية كنت ارافقه اثناء زيارته للمفاعل المصري القديم والجديد سمعت المسؤلين يقرون بكثير من الحقائق والمواقف الرسمية والغير معلنه للعاملين في المجال او للمتخصصين يدلون بها للاجانب وغير مسموح بتداولها للمصريين!!.

هناك تقرير تم نشرة ضمن سلسلة تقارير مجلس الشوري عــن البرنــامج النــووي المصري (تقرير رقم ٨) والذي نشر عام ١٩٩٢ والذي وضعتة لجنــة خاصــة بعــد جلسات ومداولات في الفترة من ديسمبر ١٩٨٦ حتي اقره المجلــس فــي صــورتة النهائية في يوليو عام ١٩٨٧ (لاحظ ان الوقت ليس له اية اهمية لاتخــاذ اي قــرار) بالرغم ان البرنامج النووي المصري يفرض نفسة كقضية وطنيــة هامــة للمجتمــع وسلامته واستقلال مصر السياسي والاقتصادي.

دخلت مصر مجال استخدامات الطاقة النووية عام ١٩٥٥ عندما تم انشاء اول لجنة حكومية للطاقة الذرية وكان الهدف الاكبر للبرنامج النــووي الاول هــو تهيئــة الدولة للدخول في العصر النووي لكي لا تتخلف عن العالم المتقدم وعقدت مصر فــي عام ١٩٥٦ اتفاق مع الاتحاد السوفيتي علي توريد مفاعل بحثي قوة ٢ ميجاوات وهو مازال في الخدمة حتي الان بعد اعمال صيانة وتجديد وعملت علية اجيال من الكوادر العلمية والفنية لاكثر من اربعون عام وقد تكونت من علمائنــا خبــرة وطنيــة فــي المجالات المتعددة للطاقة الذرية وارسلت اعداد كبيرة من البعثات للدراسات العليا في مختلف الجامعات الاجنبية في مختلف التخصصات التــي تخــدم البرنــامج النــووي المصري وكان الدافع وراء هذا الاهتمام القومي هو ان الطاقة النووية يجب ان تعتبر أحد المصادر الرئيسية لانتاج الكهرباء في مصر لعدة اعتبارات اهمها:

١) ان حوالي ٧٥% من امكانات الطاقة المائية تم استغلالها مــن الســد العــالي وخزان اسوان واذا امكن استغلال الاحتمالات المتبقية فانهــا لــن تــضيف الا القليل .
٢) ان البترول ثروة ناضبة لا يمكن الاعتماد علية فقط في انتاج الكهرباء (خاصة مع ارتفاع اسعارة العالمية الان).
٣) ان الغاز الطبيعي محدود من ناحية الاحتياطات المؤكدة.
٤) ان احتياطات الفحم في مصر تتراوح بين ٣٥ الي ٥٠ مليون طن وهو لايكفي كمصدر يذكر في انتاج الكهرباء.
٥) الطاقة الشمسية كتكنولوجيا جديدة تكاليفها عالية وفي مراحلها الاولية.
٦) ضرورة دخول التكنولوجيا النووية لانها مصدر اساسي لانتاج الكهرباء.
٧) الحد من تلوث البيئة الذي يصاحب محطات الفحم والبترول والوقود الاحفوري.
٨) الاستفادة من مصادر اليورانيوم المحتملة في مصر.
٩) تطوير العديد من الصناعات عن طريق المشاركة المتزايدة في مجالات الطــاق النووية.

وحينما تزايد نشاط مؤسسة الطاقة الذرية بأنشاص (نشاط بحثي فقط) وكثر عــدد خبرائها انبثق عنها هيئة المحطات النووية عام ١٩٧٦ وهيئة المواد النووية عام ١٩٧٧ واصبحت المؤسسة هيئة ذات ثلاث مراكز مركز البحوث النووية- مركــز بحوث تكنولوجيا الاشعاع – مركز المعامل الحارة واضيف لهــم فــي الثمانينــات واوئل التسعينات مركز الامان النووي وكما جاء بالتقرير ص٢٦ ان اهم الانجازات هو اعداد الكوادر العلمية والفنية وتكوين قاعدة علمية نووية وتكوين بنية اساسية من المعامل والتكنولوجيا المتطورة في جميع مجالات العلوم النوويــة الاساســية

والتطبيقية (بفرض صحة هذا الكلام واذا علمنا ان خفض الميزانية السنوي منع الاحلال والتجديد ومنع تعيين كوادر جديدة تتدرب وتتعلم علي ايدي من سبقهم من اجيال وتتابع احالة الاجيال المدربة ذات الخبرة الي المعاش مما ادي الي توقف معظم الفعاليات (واذا كانت المعرفة موجودة فقط في رؤوس الناس فانة من الصعب اعادة بنائها ولحفظ المعرفة حية فاننا نحتاج الي تراكب اجيال وهذا السيناريو متشابه يواجهة كثير من دول العالم وتقول الوكالة ان متوسط اعمار القوة العاملة النووية العالمية هو حوالي ٥٠ عاما وفي غضون ١٥ عاما سيتقاعد نصف هذه القوة.) خاصة مع اهمال الدولة منذ اوائل الثمانينات للبحث العلمي علي وجة العموم وللبرنامج النووي علي وجة الخصوص) ولنعود الي موضوع انتاج الكهرباء، بداء التفكير في انشاء محطة نووية عام ١٩٦٣ لتوليد الكهرباء عام ١٩٦٣ وكان هناك تفكير للتعاون مع الهند والارجنتين ووصلت الدراسات الي مرحلة طرح مناقصة لانشاء محطة لتوليد الكهرباء ووحدة لتحلية ماء البحر في منطقة سيدي كرير الا ان المشروع توقف وتم الغاء كل الاتفاقيات لنشوب حرب ١٩٦٧ والظروف السياسية التي املتها طبيعة العلاقة بين مصر والغرب في ذلك الوقت.

وعقب حرب ١٩٧٣ وفي زيارة لمصر اعلن نيكسون ان الولايات المتحدة الامريكي توافق علي تزويد مصر بمحطات نووية تصل قدرتها الي حوالي ١٨٠٠ ميجاوات وكما جاء في ص ٣٩ من التقرير تم اتخاذ الخطوات التالية:

١) في اواخر عام ١٩٧٤ تم ابرام عقد توفير خدمات اثراء الوقود النووي لمحطة قوة ٦٠٠ ميجاوات بين مصر ولجنة الطاقة الذرية الامريكية كما طرحت مناقصة محدودة بين الشركات الامريكية لانشاء محطة نووية قوة ٦٠٠ ميجاوات وتم اصدار خطاب اعتزام لشركة وستنجهاوس الامريكية في مارس ١٩٧٦ .

٢) في عام ١٩٧٦ تم التوقيع الابتدائي لاتفاقية بين مصر وامريكا بشان التعاون في مجال الاستخدمات السلمية للطاقة النووية.

٣) في عام ١٩٧٩ تم تشكيل المجلس الاعلي للطاقة .

وفشلت تلك الجهود كما جاء في التقرير ص ٤٠-٤١ وذلك لعدم الوصول الي اتفاق سياسي مع الولايات المتحدة للاتفاق علي السماح بتصدير التكنولوجيا والمواد النووية لمصر بسبب الاختلاف حول موضوع التفتيش علي المنشآت النووية (هنا امرين محيران الاول ان التفكير كلة مركز علي استيراد تكنولوجية مستوردة تسليم مفتاح ومن دولة لايمكن ان تكون صديقة لاسباب استراتيجة متعددة والامر الثاني عند عدم القبول بموضوع التفتيش عام ١٩٧٩ تم الخضوع والاذعان له بموجب اتفاقية عدم انتشار الاسلحة النووية في فبراير ١٩٨١ الذي فتح باب التفتيش علي مصرعية ودون مقابل)، وسبب ثاني للفشل كما جاء بالتقرير وهو عدم توفر مصادر لتمويل المشروع!!!(المفترض ان التمويل يتوفر اولا ثم نبداء الدراسات والاتفاقيات وعمل المناقصات، ولهذا ذهبت كل الجهود هباء منثورا).

وفي اوائل الثمانينات التي تميزت بعصر جديد هو عصر الاجتماعات والندوات والإذعان للضغط الغربي والخضوع لاتفاقية عدم انتشار الاسلحة النووية بحجه ان

هذا سوف يشجع دول الغرب بالتعاون النووي معنا وكانت الهند من ضمن الدول التي رفضت منذ البداية الانضمام الي هذة المعاهدة حيث اعلنت انها معاهدة تميز بين حقوق وواجبات دول السلاح النووي وباقي دول العالم ، وفرضت الوكالة الدولية للطاقة الذرية سيطرتها علي المنشأت النووية المصرية مع مضي الوقت خاصة في الالفية الجديدة واصبح كل مايجري هو كلام في كلام وقرارات لاتساوي ثمن الورق الذي كتب علية. ومن ص ٤١ – ٤٥ كلام عن انشاء محطة نووية في منطقة الضبعة بمشاركة كندية مع امكانية تصنيع محلي للوقود النووي (انتاج ماء ثقيل من مصانع كيما) وانتاج يورانيوم من حمض الفوسفوريك بمصانع فوسفات ابو زعبل وطبعا لم يتم انجاز اي شي حتي تاريخة عام ٢٠٠٧ لتوجه القرار السياسي نحو التنمية الاجتماعية والاقتصادية والبنية الاساسية للمدن وتأجيل موضوع الطاقة النووية إلي اجل غير مسمي. وكان هناك سبب وجيهه هو حادث تشيرنوبل وانشغال العالم بدراسة اسبابه واثارة .
تقدم وحيد حدث وهو انشاء المفاعل البحثي الثاني بقدرة ٢٢ ميجاوات وهو مفاعل ارجنتيني متعدد الاغراض يمكن استخدامة في انتاج العديد من النظائر المشعة للاستخدامات الطبية ويمكن استخدام قناة العلاج بالنيترونات ويمكن انتاج الكوبلت المشع كمصدر لاشعاع جاما وكذلك به امكانية لانتاج السليكون النقي والموصلات فائقة التوصيل .....الخ. ويبدوا ان التوجه واحد وسوف يسير المفاعل الثاني علي خطي المفاعل الاول لان اسلوب القيادة والتفكير واحد.

ويحزنني البيان الرسمي الذي اصدرته وزارة الخارجية المصرية يوم التصديق علي المعاهدة حيث يقول " ان التصديق علي المعاهدة هو خطوة هامة الي التكنولوجيا النووية بهدف تنمية الرخاء والرفاهية للشعب المصري وتحقيق اماله في التقدم الاجتماعي والاقتصادي.(السؤل هل تم شي من ذلك؟) ومن الجدير بالذكر انه تم فرض قيود اخري في اتفاقية تكميلية ثم تم تمديد المعاهدة الي اجل غير مسمي لرغبة الولايات المتحدة في ذلك ومنذ عام ١٩٨١ ومصر تناقش وتوقع وتخضع لضمانات وقيود تلو الاخري ُتفرض طبقا للمعاهدة

ونود ان نشير الي الدول غير الاطراف في معاهدة منع الانتشار النووي حاليا هي الهند وباكستان واسرائيل وكوبا وكوريا الشمالية خرجت منها وتهدد ايران بالخروج من المعاهدة ايضا ومن الجدير بالذكر ان نشاطات ايران حتي الان تتفق مع نصوص الاتفاقية ولكن الغرب يريد وقف هذة النشاطات خوفا من ان تمتلك ايران هذه التكنولوجية وبالتالي يمكنها حين تشاء ان تصنع سلاح نووي ويتساءل كثيرون في مصر اين نحن من برنامج الهند وقد بدأنا برامجنا سويا ولم نتقدم نحن؟ هذا ما سوف نحاول الاجابة علي بعض منة.

البرنامج النووي الهندي قصة نجاح ومثال كان يجب ان يحتذي

اهتمت الهند مبكرا جدا عن مصر وعن عديد من دول العالم الثالث حيث بداء هذا الاهتمام قبل استقلال الهند عام ١٩٤٧ ، توهج هذا الاهتمام لدي عالم هندي فيزيائي يدعي هومي بهابها الذي تعلم في جامعة كمبريدج بانجلترا وبعد حصولة علي

الدكتوراة عاد الي الهند عام ١٩٤٤ وتقدم بمذكرة الي مؤسسة السير تاتا المالية الهندية طالبا دعما ماليا لبداية برنامج للبحوث النووية وبرر هذا المشروع بانة حينما ينجح تطبيق الطاقة الذرية لانتاج الكهرباء فلن تتطلع الهند الي الخارج لاستجلاب الخبراء فسوف يكون قد تم تكوين هذه الكوادر ذات الخبرة وفي نهاية العام الثالث تم افتتاح معهد تاتا للبحوث الاساسية وتكوين اول تجمع هندي في العلوم النووية (لنا ان نسأل انفسنا هل نري اي فكرة وليدة النور في مصر؟ هل يقوم القطاع الخاص الوطني بتبني تقنيات وطنيه وتنميتها ودعمها؟ هل يترك اعداء النجاح اي شخص طموح لتكملة مشوارة؟ ام تؤد اي نجاحات في مهدها قبل ان تحقق نجاح واضح؟) كانت القاعدة الذهبية التي يعمل بها بهابها اعطني عالما وطنيا مخلصا وانا انشئ حولة مؤسسة كاملة واتبع مبداء التميز في اختيار العلماء وكان هذا الدافع لتكوين لجنة الطاقة الذرية الهندية وانشاء مركز للتدريب يدير سنويا برنامج تدريبيا متخصصا لمدة عام كامل يلتحق به خريجو الجامعات في التخصصات المطلوبه وينتقي منهم الحائزون علي درجه الامتياز للعمل في لجنه الطاقة الذرية كما تم انشاء مركز للبحث العلمي والتطوير متعدد الاتجاهات والتخصصات ويعني بالمستوي الرفيع والعالي من البحث العلمي (ليس بحوث نمطية متكررة وتحصيل حاصل للحصول علي درجة وظيفية اعلي ودون فاعلية تذكر) وكذلك بالتنمية التكنولوجية الهادفة. وكانت اهم قاعدة في العمل هي الاعتماد علي الذات في بناء التكنولوجيا (وليس الاعتماد كليا علي التكنولوجيا المستوردة كما هو الحال في مصر ومما ذاد الطين بله هو التوجه الدائم للغرب والاعتماد علية في كل الخطوات ولست ادري كيف نعطيهم كل هذة الثقة واغلبهم يريدون شرا و هدم البيت علي من فية ووقف المسيرة كما حدث تماما).

في عام ١٩٤٨ صدر قانون الطاقة الذرية وفي عام ١٩٤٩ كانت اول خطوة تنفيذية بانشاء وحدة البحث عن الخامات النادرة مثل اليورانيوم والثوريوم وفي عام ١٩٥٤ انشئت مؤسسة الطاقة الذرية الهندية والتي تضم المعامل والمرافق البحثية وسميت فيما بعد مركز بهابها للبحوث الذرية (انشئت لجنة الطاقة الذرية المصرية عام ١٩٥٥) ثم انشاء مصنع لانتاج الثوريوم من الرمال السوداء (تم في مصر عمل دراسات اغلبها مكاتب استشارية غربية ثم نام الموضوع في دهاليز الروتين والنسيان) وفي نفس العام بداء انشاء اول مفاعل نووي بحثي في اسيا (قدرة ١ ميجاوات) وبداء عمله بعد عام واحد من الانشاء وفي ديسمبر من نفس العام بداء تنفيذ برنامج للتعاون بين الهند وكندا بانشاء المفاعل الكندي الهندي بقدرة ٤٠ ميجاوات (قارن هذه الخطوات الفعالة وما حدث في مصر كما سبق ذكره) وقودة اليورنيوم الطبيعي الفلزي (دون تخصيب) والماء الثقيل (الديوتريوم) وتضمن الاتفاق علي تصنيع جزء من شحنة الوقود النووي محليا لامتلاك القدرة علي انتاج الوقود النووي (يعتمد البرنامج النووي المصري علي استيراد الوقود النووي من الخارج).

وفي عام ١٩٥٧ افتتح نهرو مؤسسة الطاقة الذرية الهندية والمفاعل البحثي اسبار وفي عام ١٩٥٩ تم تشغيل مصنع انتاج اليورانيوم بالنقاوة النووية المطلوبة من خامات محلية ويعتبر عام ١٩٥٥ البداية الحقيقية للبرنامج النووي العسكري الهندي وفي عام ١٩٦٠ تم تشييد مفاعل صغير من تصميم هندي من نوع الماء الثقيل وتم تشغيلة عام ١٩٦١ كما بداء تشييد محطة لاعادة معالجة الوقود وانتاج البلوتونيوم من وقود المفاعل الكندي الهندي المشع والتي بدأت العمل فعلا في عام ١٩٦٤ (

قارن هذه الاجراءت الفعاله والخطوات المنتظمة المتكامله بتخبط البرنـــامج النـــووي المصري وتعثرة بفعل فاعل انظر ما ورد في كتاب مجلس الشوري عام ١٩٨٦ مـــن تبريرات واهية).

وبذلك تكون الهند قد اتمت استكمال دورة الوقود النووي علي نطـــاق بحثـــي وتجريبي بالاعتماد علي الذات وبدأت في تصميم واقامة مفاعل صـــغير يعتمـــد علـــي اليورانيوم الفلزي والماء الثقيل وكانت اول دولة تستطيع تطـــوير هـــذه التكنولوجيـــا المتكاملة بعد الدول النووية الكبري. ثم بدأت فصل البلوتونيـــوم فـــي محطـــة انتـــاج البلوتونيوم خلال اعوام ١٩٦٤-١٩٧٤ وبعد صيانتها تم اعادة تشغيلها عام ١٩٨٤ ويقدر دافيد اولبرايت مجموع ما انتج من البلوتونيوم بحوالي ٨٠ كيلو جرام اي مـــا يكفي ١٦ قنبلة وتم استخدام جزء منه في التفجير النووي الاول عام ١٩٩٨ وقامـــت كندا بعدها بقطع علاقتها النووية مع الهند ولكن الهند كانت قد اكتسبت خبرة كاملـــة لكي تنتقل الي المرحلة الثانية في انتاج البلوتونيوم وهي مرحلة هندية بالكامل تمثـــل اقصي درجات الاعتماد علي النفس وتفعيل الخبرة والمعرفة وتم فـــي هـــذه تـــصميم وتشييد مفاعل لانتاج البلوتونيوم قدرة ١٠٠ ميجاوات عالي الفيض النيتروني ١,٨ * ١٠ ^{١٤} نيترون/سم^{٢} من نوع الماء الثقيل وبداء تشغيلة عـــام ١٩٨٥ ويقـــدر دافيـــد اولبريت سعة انتاج البلوتونيوم بحوالي ١٦-٢٦ كيلو جرام/سنة من النـــوع عـــالي النقاوة ويمكن القول انه خلال العشر سنوات الماضية قد تم انتاج ٢٥٠ كيلوجرام اي حوالي ٥٠ قنبلة ذرية وهذا المفاعل لا يخضع لاي قيود دولية فهو انتاج هندي صرف وتكنولوجية هندية بالكامل (ونحن نتندر بالقول اني لست هندي كـــي اصـــدق) لـــذلك اقدمت الهند علي اجراء اختباراتهم النووية الخمسة عام ١٩٩٨ بعد ان وصلت الـــي الخبرة والقدرة والتكنولوجيا التي تمكنها من الاستمرار في انتاج البلوتونيـــوم وكـــان ذلك بعد خمسين عاما من انشاء الطاقة الذرية الهندية (يـــاتري بتخاذلنـــا وخنوعنـــا يلزمنا كم قرن من الزمان حتي ننجز ربع هذا التطوير والانجاز).

هذه الجدية والانجازات تكررت في باكستان وكوريا الشمالية واخيرا في ايران دون اي تقدم علي الصعيد العربي والمصري ويبدوا انهم ادمنوا الكلام والاجتماعـــات واللجان التي تنعقد وتنفض دون تحقيق اي خطوة الي الامام وتمر السنين وتذداد هوه التخلف ويذداد ركوعنا للغرب والشرق نتلمس منهم حسنة او رحمة دعوني بكل اسي نقراء ماجاء في الاوراق المصرية الرسمية لتبرير تعثر البرنامج النـــووي المـــصري وتخلف مصر عن ركب الحضارة ومن بين السطور سنكتشف انـــه نفـــس الاســـلوب المتسبب في تخلف الصناعة والجيش والتكنولوجيات عموما في مختلف اوجة الحياة. ومن شدة حزني وهمي كتبت هذة السطور:

سبب البلاء

لست والله بشاعر ولكن أنطقني الظالمون
لا يتركون الفرصة لمكافح ويخشون نجاحه فهم مغرضون
يخشون النجاح والضياء خفافيش في الظلام يهيمون
هم كالدخان يتصاعد ليحجب نور الشمس
في يوم اسود ملعون
يدعمون بعضهم البعض لمجموعة عديمي المبادئ ينتمون
يتكاثرون بشدة وخلفهم أجيال علي نهجهم سائرون
يفرحون بإخفاء الحقيقة عن الأغلبية الأميون المغلوبون
يقودوهم إلي الهاوية مصيرا محتوم وهم عنه ساهون
ندفع جميعا ثمن جدالهم والكل في وادي التيه يغرقون
كيف تسير أمور الحياة ؟ وأصبح كل أمر برضاهم مرهون
كيف يستقر البناء؟ وهم كالسوس في العظام ينخرون
كيف يتحقق إي نجاح ؟ وهم في محيط الجهالة يسبحون
هل يتركون فرصة للنخيل يُثمر أم هم له قاطعون؟
هل يتركون الفرصة لعباد الله الكادحون

لست والله بشاعر ولكن أنطقني الجاحدون
زمار الحي لا يطرب ولتسال من هم المبدعون؟
وكثر الأدعياء والمدعين وحلق الفشل كالبوم تحت النجوم
واختلط الحابل بالنابل وتساوي المصلحون بالمفسد ون
لست والله بشاعر ولكن أنطقني المنافقون
يعشقون النفاق والرياء واتخذوا أصناما هم لها عابدون

ضاربي الدفوف يجيدون المديح ولسيدهم يسجدون
أنعدم الإخلاص لديهم ودائما عن الحق معرضون

لست والله بشاعر ولكن أنطقني الصامتون
يتلهون بكل تافه وبسقط الكلام وعن الحق يخرسون
إذا دعاهم الداعي للعمل تلهوا عنه ولحديثه يكذبون

كيف تستعيذون من شيطانا أنتم له عابدون
كيف تنتصرون علي عدوا أنتم له عاشقون
كيف تمنعون حراما وأنتم له مدمنون
كيف تنهض هذه ألأمه وأنتم لأركانها تنقضون
كيف تقيمون حدود الله وأنتم لها كارهون
هل يتقبل الله أعمال المتخاذلون وكل حياتهم يمثلون
أن الأرض لن يرثها إلا عباد الله الصالحون

مقالات نووية (٧)

نظرة علي استخدام الإشعاع في تعقيم مياه الصرف

نقل التكنولوجية الغربية ليس بالضرورة مناسبا للبلاد النامية :

اخترت أن أكتب في هذا الموضوع لأسباب عديدة:

أولاً : أن هناك فئة من متخذي القرار ومن الباحثين (في أي موقع كان) يعتقدون أن نقل كل تكنولوجيا غربية هو أسرع طريق للنجاح وتحقيق التنمية السريعة وكانت هي طوق النجاح الذي يبحثون عنه لإيجاد أي حلول.

ثانياً : العديد من الناس الذين يضيفون قدسية ومهابة على جهاز أو معدة مستوردة وفي المقابل الاستهانة بكل ما هو محلي أو ممكن تصنيعه وتركيبه محلياً ، فلابد أن يكون للجهاز كتالوج بلغة أجنبية ولابد لخبير أجنبي أن يقول أن هذا هو أحدث جهاز ومضمون نجاحه في العمل المخصص لأدائه ، وأن أي فشل أو إخفاق يرجع للعاملين على الجهاز أو مستخدمي هذه التكنولوجيا.

ثالثاً : وهو الأخطر لأن مافيا المصالح التي ربطت مصالحها بالشركات الموردة بالخارج هي التي تحارب بكل شراسة لوأد أي تكنولوجيا محلية وتدفع السوق دفعاً للإعتماد كلياً على كل ما هو مستورد مما أدى إلى إضعاف القدرات المحلية على التطوير وجعلت كل مسئول يبحث عن الحلول الأجنبية تحت مسميات مختلفة من إتفاقيات تعاون وشراكه واستشارة وخلافه. ومع أن التجارب العديدة والواقعية على مدى أكثر من خمسون عاماً في مصر أفادت عدم نجاح هذا الأسلوب ، فكم من المشاريع الخدمية أو الإنتاجية تعثرت بعد أن قمنا باستيراد تقنيات غربية للتنفيذ ثم نفاجأ بأنها غير مناسبة لظروفنا وبها العديد من المشاكل التي تنعدم معها الجدوى الاقتصادية للمشروع فيتوقف ويفشل ويبحث كل طرف عن شماعة يعلق عليها فشله والخاسر الوحيد في هذه الحالة هي مصر والذي يدفع ثمن هذه الخسائر شعب مصر.

والأمثلة كثيرة وعديدة سوف أسوق بعضها في مقال آخر وقبل أن يحاول أي حاقد أن يلبسني ثوب المعارض لأي فكر جديد حتى يصرف أنظار الناس عن أفكاري سأعرض في هذا المقال تقنية غربية قديمة منذ (٥٠ عاماً) تم تجربتها في البلاد المتقدمة على مقياس تجريبي فقط كنوع من الرفاهية العلمية ونظراً لارتفاع تكلفتها فهي غير مجدية اقتصادياً مما أدى إلى توقف هذه المشاريع التجريبية في بلادها ، ومنذ عشر سنوات قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بإنشاء مشروع تعاون علمي بين الدول النامية ومنها مصر وبعض البلاد العربية للتسويق لهذه التقنية وهي استخدام مصدر إشعاعي (جامي أو الكتروني) في تعقيم مياه المجاري أو الحمأة والهدف الخبيث وراء ذلك هو تسويق المصادر الإشعاعية القديمة التي تم إستخدامها في تجارب سابقة بالدول المتقدمة على مدى الـــ (٥٠ عاماً) وطبعاً

صغار البحاث الذين اشتركوا في هذا المشروع فرحوا بفرص السفر المتتالية للخارج لحضور الاجتماعات على مدار عشر سنوات والتي إنتهت إلى لا شئ اللهم إلا تكرار وترديد ما تقوله النتائج السابقة والمنشورة في شبكة المعلومات ، ونظراً لأن هؤلاء الباحثين اصحاب مصلحة في الاستمرار فإنهم الآن يضغطون على حكوماتهم وعلى المنظمات الأخرى مثل هيئة الطاقة الذرية المصرية والعربية لتطبيق هذه التقنية ، وسوف أناقش بأسلوب علمي خالي من التحيز أو التعصب هذا الموضوع فيما يلي :

أولا : كيف يتم معالجة مياه المجاري ؟ وما هي الطرق البديلة وكفاءتها تحت ظروف مصر ؟ تخضع مياه المجاري لعدد من المعالجات المختلفة التي تهدف جميعها إلى خفض محتواها من المواد الملوثة إلى الحدود المسموح بها محلياً وعالمياً وسوف نتكلم هنا باختصار شديد عن المعالجات والتي يمكن تقسيمها إلى ثلاث مراحل :

١) معالجة أولية : تجري بهدف التخلص من المواد الصلبة الطافية والعالقة بالمياه.
٢) معالجة ثانوية : تجري بهدف التخلص من المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي.
٣) معالجة ثلاثية أو متقدمة : تجري بهدف التخلص من المواد الغير قابلة للتحلل البيولوجي والمواد السامة ، وبعض المواد الغير عضوية (فوسفور – أمونيا – نترات وغيرها) وقتل الميكروبات والكائنات المسببة للأمراض ، كما سبق لنا شرح الطرق المستخدمة في مثل هذه المعالجات ، ولتفاصيل أكثر يمكن الرجوع إلى مقالنا السابق ومؤلفنا الذي كان بإسم (تلوث البيئة وصحة الإنسان ٢٠٠٠) ، وإلى تقرير الكود المصري باستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة (يوليو ٢٠٠٤) ، وطرق المعالجة الحديثة يجب أن تأخذ كذلك في الإعتبار التخلص النهائي من المواد الملوثة المذابة من المياه علاوة على البكتريا والفيروسات في المياه الناتجة.

ويجب أن تستخدم طرق رخيصة وفعَّالة لمعالجة مياه المجاري قبل تصريفها في المياه المستقبلة لها أو إعادة إستخدامها ، والغرض من معالج مياه المجاري هذه أساساً الإقلال من كميات المواد الصلبة المعلقة ، والقضاء على البكتريا المرضية والمواد المستهلكة للأكسجين في المياه العادمة ، وبالرغم من تطور تقنيات معاملة المياه العادمة إلا أنه مازالت هناك حاجة ملحة غلى طرق تزيل كميات أكبر من الملوثات كالمواد غير العضوية الذائبة (مثل أملاح المعادن الثقيلة وأملاح الصوديوم والمنجنيز).

ما هي الأسس التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند إختيار طريقة المعالجة ؟

يعتمد إختيار طريقة المعالجة على مجموعة من العوامل التي سوف يتم دراستها وهي كالتالي :

١)عدد السكان المخدومين.
٢)كمية ونوعية مياه الصرف الصحي وهل هي مياه صرف صحي فقط أم مياه صرف صحي مخلوطة بمياه صرف صناعي.
٣)تصرف المخلفات السائلة الصناعية بالنسبة للتصرفات في شبكة الصرف.
٤)أسلوب التخلص من المياه المعالجة والحمأة.
٥)مدى الاحتياج لإعادة إستخدام المياه المعالجة والحمأة الناتجة في الزراعة والري.
٦)حماية الأراضي والمياه القديمة والمالحة في الأنهار والبحار.
٧)مدى الحاجة لحماية البيئة المحلية.
٨)الحصول على خواص معينة للمياه المعالجة.
٩)العوامل المناخية ، درجة الحرارة ، سطوع الشمس ، سقوط الأمطار والرياح.
١٠) تكاليف الأرض.
١١) مدى توافر العمالة الماهرة للتشغيل والصيانة وتكاليفها.
١٢) مدى مطابقة الشروط الصحية.
١٣) الأمان والمعرفة لطريقة المعالجة.
١٤) مدى توافر الإعتمادات المالية.

<u>ما هي الشروط الفنية الواجب مراعاتها في إختيار النظم العامة للمعالجة ؟</u>

هناك بعض الأسس المقترح مراعاتها عند إختيار السلوب المناسب للمعالجة ومنها :

١) مراعاة النواحي الهندسية والبيئية شاملة تفاصيل التنفيذ والتشغيل مع الربط بين أجزاء مراحل تشغيل وحدات المعالجة للحصول على نظام إقتصادي مناسب.
٢) أن يكون التصميم على أقصى أحمال يومية.
٣) مراجعة أسس التصميم لكل وحدة معالجة للتأكد من أن مقاساتها في الحدود المقبولة.
٤) لابد من دراسة تحليلية اقتصادية قبل إختيار نظام المعالجة شاملة رأس المال وتكاليف التشغيل والصيانة ومدى تأثير النظام على الطرق الأخرى.
٥) مراعاة الاقتصاد في التنفيذ والإنشاء والتشطيبات المعمارية.
٦) التشغيل المركزي لأعمال المعالجة.
٧) الحصول على أفضل عدد وحجم للمعدات المستعملة.

إختيار وأنسب طرق المعالجة البيولوجية التي تناسب الظروف في مصر هي :

١) الوحدات النقالي.
٢) طريقة الحمأة المنشطة.
٣) المرشحات الزلطية.
٤) طريقة الحمأة بالتهوية الممتدة مثل نظام قنوات الأكسدة.
٥) البرك المهواه.
٦) برك التثبيت (الأكسدة) الطبيعية تحتوي على خزان لاهوائي.
٧) برك التثبيت (الأكسدة) الطبيعية لا تحتوي على خزان لاهوائي.

وهناك العديد من الطرق لم تذكر هنا حيث أن الطرق التي تم ذكرها هي طرق يمكن استخدامها في مصر حيث أنها تلائم التصرفات المتاحة ومدى تلوث البيئة والمناخ السائد وحتى يكون الاختيار صحيحاً سوف يتم عمل مقارنة بين هذه الطرق من حيث :

١) قدرة المحطة على إزالة المواد العضوية (BOD_5).

٢) قدرة المحطة على إزالة الميكروبات المسببة للأمراض.

٣) قدرة المحطة على إزالة المواد الصلبة العالقة (S.S).

٤) قدرة المحطة على إزالة الديدان المعوية.

٥) قدرة المحطة على إزالة الفيروسات.

٦) إمكانية إعادة إستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة.

٧) إمكانية الإستفادة من مياه الصرف الصحي المعالجة في ري الأشجار والمزروعات وتربية الأسماك.

٨) طريقة الإنشاء بتكلفة بسيطة.

٩) مساحة الأرض المطلوبة للإنشاء.

١٠) تكلفة وسهولة التشغيل.

١١) تكلفة الطاقة المطلوبة لإدارة المحطة.

١٢) تقليل كمية الحمأة المطلوب إزالتها وكذلك معالجاتها.

والجدول رقم (٢٨) يوضح المقارنة بين الطرق المختلفة لمعالجة المخلفات السائلة ومدى كفائتها في التخلص من الملوثات المختلفة ، ويتضح تفوق طرق برك الأكسدة والمعالجة بالحمأة المنشطة في التخلص من البكتريا الممرضة والفيروسات والطفيليات وخفض BOD_5 وهذه الطرق تطبق بنجاح في مصر.
وتؤدى جميع هذه العمليات إلى خفض كبير في تركيز المواد العضوية في الفضلات السائلة كما يتضح من الجدول رقم (٢٨).

ما هي التصرفات الحالية والمتوقعة لمياه الصرف الصحي في مصر ؟
يوضح الجدول رقم (٢٩) تصرفات محطات معالجة مياه الصرف الصحي حالياً والتي يمكن الإستفادة من مياهها المعالجة لأغراض الزراعة كما يوضح التصرفات المتوقعة بعد الإنتهاء من المشروعات الجاري تنفيذها والتوسعات المستقبلية

الجدول رقم (٢٨) : يوضّح المقارنات بين أنظمة المعالجة المختلفة.

المعالجة / الصفة	برك التثبيت بالأكسدة الطبيعية تحتوي على خزان لاهوائي	برك التثبيت بالأكسدة الطبيعية بدون خزان لاهوائي	برك الأكسدة المهواة	معالجة بالحمأة المنشطة بالتهوية الممتدة نظام قنوات الأكسدة	معالجة بالحمأة المنشطة بالتهوية الممتدة	معالجة بالمرشحات الزلطية أو البيوفلتر	معالجة بالحمأة المنشطة (التقليدية)
قدرة المحطة على إزالة BOD_5	ممتاز	ممتاز	ممتاز	ممتاز	ممتاز	ممتاز	ممتاز
قدرة المحطة على إزالة البكتريا المسببة للأمراض	ممتاز	ممتاز	ممتاز	ممتاز باستخدام الكلور	ممتاز باستخدام الكلور	ممتاز باستخدام الكلور بكميات كبيرة	ممتاز باستخدام الكلور
قدرة المحطة على إزالة S.S	جيدة	جيدة	جيدة	ممتاز	ممتاز	ممتاز	ممتاز
قدرة المحطة على إزالة الديدان المعوية	ممتاز	ممتاز	ممتاز	متوسطة	متوسطة	ضعيفة	متوسطة
قدرة المحطة على إزالة الفيروسات	ممتاز	ممتاز	ممتاز	متوسطة	متوسطة	ضعيفة	متوسطة
إمكانية إعادة استخدام مياه المجاري المعالجة	ممتاز	ممتاز	ممتاز	جيد جدا	ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة
طريقة إنشاء تكلفة بسيطة	ممتاز	ممتاز	ممتاز	متوسطة	متوسطة	ضعيفة	ضعيفة
ج.م/m^3 تكلفة الصيانة وسهولة التشغيل	قليلة جدا	قليلة جدا	قليلة	متوسطة	متوسطة	متوسطة	عالية
تكلفة الطاقة المطلوبة لإدارة المحطة	قليلة جدا	قليلة جدا	عالية	متوسطة	متوسطة	متوسطة	عالية
مساحة الأرض المطلوبة	كبيرة جدا	كبيرة جدا	متوسطة	صغيرة	صغيرة	متوسطة	صغيرة
تكلفة الحمأة المطلوب إزالتها	قليلة جدا	قليلة جدا	قليلة	متوسطة	متوسطة	كبيرة	كبيرة
إمكانية الاستفادة من مياه الصرف الصحي المعالجة في تربية الأسماك	ممتازة	ممتازة	ممتازة	ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة

جدول رقم (٢٩) : تصرفات محطات معالجة مياه الصرف الصحي القائمة حالياً في بعض محافظات مصر.

المحافظة	إجمالي التصرفات ألف م٣/يوم	
	مشروعات منفذة	مشروعات جاري تنفيذها
دمياط	٢١٥	١٢٧
كفر الشيخ	١٥٨	١٨٥
الدقهلية	٤٧٥	١٣٨
الشرقية	٣٧٢	١٣٨
القليوبية	٢١٧	٢٩٠
المنوفية	٢٧١	٢٠٥
١٥٦	١٦١	١٥٦
١٦١	٤٠٥	١٦٦
مدن القناة(الإسماعيلية – السويس)	٥٠٥	٤٧٥
بور سعيد	–	–
الجيزة	٦٠	٦٠
الفيوم	١٣٢	٩٢
بني سويف	١١٠	١٠
المنيا	١٨٢	١٦٢
سوهاج	٣٠٠	٢٧٨
قنا	١٩٢	١٧٩
أسيوط	٢٤٥	١٨٥
أسوان	٧٨	٣٥
البحر الأحمر	٦٠	٦٠
مطروح	٤٠	٢٥

وقد سبق أن تكلمنا في عن تصرفات محطات الجبل الأصفر وأبو رواش وزينين وباقي ستة محطات لمحافظة القاهرة.

والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هل هناك حاجة لتعقيم مياه المجاري المعالجة ؟

من المعروف أن مياه الصرف الصحي تحتوي على أغلب طوائف الميكروبات والمسببات المرضية المعروفة ، مثل الميكروبات المسببة لحمى التيفود والنزلات المعوية والدوسنتاريا وأمراض الجهاز التنفسي ، وجميع الأمراض المتوطنة مثل البلهارسيا والأسكارس وغيرها. وتتراوح نسب وجودها بين ١٠ ^{٥} خلية في كل لتر إلى ١٠ ^{٧} أو أكثر في اللتر ، وعمليات المعالجة التقليدية يمكنها تخفيض المحتوى الميكروبي بنسب عالية تتراوح بين ٩٠-٩٩% ، ولكن الأمور لا تقاس بهذه النسب ، فهي تعطي إنطباعاً خاطئاً وتضلل القارئ ، فمثلاً إذا كانت هناك مياه ذات محتوى ميكروبي يبلغ ١٠ ^{٧} ميكروب في اللتر ، فإن تخفيضاً مقداره ٩٩% منها يعني أن الباقي في المياه لا يزال ١٠ ^{٥} ميكروب في اللتر ، وهو رقم مرتفع للغاية ، ويعتبر مصدر خطر حقيقي ، لذا فمن الأفضل والأدق إتباع طرق إستخدام التركيز عن إتباع طريقة النسبة المئوية في وصف المحتوى الميكروبي ، وعند إعادة إستخدام مياه المجاري " المعالجة " في الري ، فإن العديد من المسببات المرضية يستمر نشاطها وتستمر حياتها عدة أسابيع ، وقد تستمر في بعض الأحيان – مثل بيض الأسكارس وبعض أنواع الجراثيم إلى أكثر من عام كامل في التربة ، وعلى الرغم من أن مدة بقاء المسببات المرضية في المحاصيل تعتبر قصيرة ، إلا أنها قد تمتد عدة أيام ، بل وعدة أسابيع في حالة الزراعات المحمية وزراعات الخضروات ، ولا يتوقف إنتشار المسببات المرضية في التربة فقط ، بل يمتد إلى المحاصيل ذاتها ليظهر في أسواق الإستهلاك.

ومن الأمثلة المشهورة التي تؤكد خطر إستخدام الصرف الصحي – دون تخفيض للمخاطر الصحية – في الري والزراعة ما حدث في صيف ١٩٧٠ في القدس عندما إنتشرت الكوليرا وأصبحت ظاهرة وبائية ، ومنذ ظهورها فقد تم إكتشاف ٢٥٠ حالة كوليرا خلال ستة أسابيع فقط منذ ظهورها ، وعند فحص مياه الشرب وجد أنها آمنة وخالية من أي أثر للميكروب المسبب للمرض ، ولكن فحص المحاصيل الخضرية التي تم ريها بمياه الصرف الصحي (غير مطابقة للمواصفات المعمول بها هنالك) وجد أنها السبب المرجح في عمليات الإنتشار السريعة للكوليرا التي قدمت إلى البلد بشكل فردي من الخارج ، وبدأت الانتشار من خلال مياه الصرف الصحي إلى الخضروات في المنطقة التي انتشر فيها الوباء ، كما أظهرت الإختبارات على عينات من التربة وجود ميكروب الكوليرا ، وعند فحص عينات من الخضروات التي تمت زراعتها على مياه الصرف الصحي وجد أنها ميكروب الكوليرا.

وإذا كانت إعادة إستخدام مياه الصرف الصحي بالطريقة غير السليمة التي تمت في القدس هي السبب في إنتشار الكوليرا وتحولها إلى وباء ، فإن الإستخدام غير السليم وغير الآمن لمياه الصرف الصحي له أخطاره على العاملين الزراعيين في الأراضي التي يتم ريها بمياه الصرف الصحي غير الآمنة ، فقد لوحظ في الهند إنتشار الانكلستوما والأمراض المعوية المختلفة بين العاملين الزراعيين في المزارع التي تروي بمياه صرف صحي آمنة ، وقد كان لعادة السير بدون أحذية دورها الهام في توسع وإنتشار تلك الأمراض الطفيلية بين العمال.

وعند إعادة إستخدام مياه الصرف الصحي – دون تخفيض لمخاطرها الصحية – في الأعشاب في المناطق الشعبية الصالحة لتربية الماشية والرعي بوجه عام ، فإن عدداً من المشاكل الصحية تطل برؤسها من جراء هذا الاستخدام غير السليم ، فقد حدث في الدانمارك عام ١٩٥٢ إنتشار لمرض المارة الحيوانية بين قطعان الماشية التي كانت ترعى على عشب تم ريه بمياه صرف صحي غير معالجة صحياً ، ومعروف أن بعض الأمراض التي تصيب الحيوان تؤثر على الإنسان المستهلك لمنتجات الحيوان المريض ، هذا بالإضافة إلى الآثار الاقتصادية الضارة على الثروة الحيوانية.

وعند إعادة إستخدام مياه الصرف الصحي دون معالجة في مزارع تربية الأسماك ، ظهر أيضاً العديد من المخاطر الصحية ، فمن الزاوية الميكروبيولوجية هناك أمران مرتبطان تمام الإرتباط ، أحدهما إمكانية إنتقال مسببات المرض خلال جلود الأسماك وقشورها إلى داخل مطابخ المستهلكين ، والثاني عندما يستوطن مرض من الأمراض المتوطنة يحتاج إلى القواقع لتقوم بدور العائل الوسيط ، فوجود تلك القواقع يؤدي إلى إنتقال التلوث إلى الإنسان وإصابته بالمرض.

وبالتالي فإن إعادة إستخدام مياه الصرف الصحي دون معالجة صحية هو أمر شديد الخطورة على الصحة العامة ، وبالتالي على المجتمع ككل ، وفي نفس الوقت فإن التخلص من مياه الصرف الصحي دون أي شكل من أشكال الإستفادة منها يعتبر تبديداً لموارد هامة ، فمياه الصرف الصحي تحتوي على العديد من العناصر الغذائية الصالحة والمناسبة في الزراعة ، ويمكن في حالة إستخدامها تحسين الإنتاجية الزراعية أو توفير بعض الأسمدة ، أو الإثنين معاً .

وهناك طوائف عديدة من الفيروسات تسبب الأمراض للإنسان والحيوان والنبات ، ومن أبرز تلك الطوائف فيروسات الجهاز الهضمي ، وهي تصيب الإنسان بالعدوى المرضية وتخرج من البراز ، وتعود فتصيب الإنسان عن طريق التنفس أو الفم ، إن جراماً واحداً من براز الإنسان يحتوي على $١٠^{٩}$ من الفيروسات المعوية ، بعضها يصيب الإنسان بالأمراض ، وهذه الفيروسات لا تستطيع التكاثر إلا في خلايا مناسبة ، لكنها يمكنها البقاء بمفردها دون عائل

مناسب لعدة أسابيع عديدة في البيئة ، خاصة إذا كانت درجة الحرارة أقل من ١٥ درجة مئوية.

وعند قياس تركيزات الفيروسات المعوية في مياه الصرف الصحي الخام ، وجد أنها تبلغ حوالي ١٠ فيروس معوي لكل لتر من مياه الصرف الصحي ، هذا وقد تم فصل العديد من الفيروسات المسببة للأمراض من تربة تعرضت للبراز الآدمي.

ويمكن تقسيم الفيروسات التي تخرج من البراز وتسبب أمراضاً للإنسان إلى عدة أنواع والجدول رقم (٣٠) يوضح أنواع الفيروسات المعدية وآثارها على الإنسان ، وحالات شلل الأطفال التي يسببها البوليوفيروس لا تظهر فيها أمراض مرضية كاملة ، وفي بعض الحالات تظهر العدوى في صورة أعراضاً شبيهة بأعراض الأنفلونزا أو الالتهاب السحائي أو الشلل الكامل ، غالباً ما تنتهي بإعاقة دائمة وأحياناً بالموت ، وقد وجد أن شلل الأطفال في العالم كله يحدث بنسبة ١ : ١٠٠٠ حالة من الإصابة بالفيروس ، ومعظم الحالات المصابة بالشلل تنتمي إلى الدول النامية.

وتسبب فيروسات الأسكو والكوكسالي أمراضاً عديدة مصحوبة بأعراض متنوعة ، بدءاً من الحمى البسيطة الإلتهاب السحائي وأمراض التنفس والشلل ، وإنتهاءاً بأمراض القلب. كما أن فيروسات الروتا وجدت في براز عدد كبير من الأطفال المصابين بالإسهال ، وهي تمثل مجموعة مهمة من الفيروسات المعوية ، وتعتبر دورها في حدوث الأمراض غير محدد ولكنها مسئولة عن نسبة كبيرة من الإسهال بين الأطفال.

أما فيروس الإلتهاب الكبدي (أ) فهو يؤدي إلى ظهور الصفراء ، ولكن عادة لا تظهر له أعراض ، خصوصاً في صغار الأطفال.

جدول رقم (٣٠) : يوضح أهم مجموعات الفيروسات التي يمكن أن تتواجد في مياه الصرف الصحي.

مجموعة الفيروسات	الأمراض التي تسببها
فيروسات الغدد (أدينوفيروس)	أمراض الجهاز التنفسي وإلتهاب العين
الفيروسات المعوية فيروس شلل الأطفال الأيكوفيروس الكوكساكي فيروس	شلل الأطفال ، الشلل ، أمراض أخرى الإلتهاب سحائي ، إسهال ، أمراض جهاز تنفسي الإلتهاب سحائي ، إسهال
فيروس الإلتهاب الكبدي	مرض الصفراء أو الإلتهاب الكبدي
الروتافيروس وأنواع أخرى	الإسهال

ويوضح جدول رقم (٣١) : الأنواع الرئيسية للمسببات البكتيرية للأمراض الموجودة في مياه الصرف الصحي والأمراض التي تصيب الإنسان بها.

جدول رقم (٣١) : يوضح أهم مجموعات البكتريا المسببة للأمراض والتي يمكن تواجدها في مياه الصرف الصحي.

مجموعة البكتريا	الأمراض التي تسببها
مجموعة القولون المرضية	الإسهال
مجموعة السالمونيلا سالمونيلا التيفي سالمونيلا الباراتيفي	حمى التيفور حمى الباراتيفور التسمم الغذائي والدوسنتاريا الباسيلية
مجموعة الشيجيلا أنواع أخرى	دوسنتاريا الإسهال
بكتريا القولون E. Coli	الإسهال
أنواع أخرى	الكوليرا

وهناك أنواع عديدة من البروتوزوا تسبب أمراضاً للإنسان والحيوان من أبرزها الدوسنتاريا والملاريا وغيرها. والجدول رقم (٣٢) يبرز الأنواع المختلفة من البروتوزوا والأمراض التي تسببها للإنسان والموجودة في المجاري.

جدول رقم (٣٢) : يوضح أهم الكائنات الحيوانية وحيدة الخلية (البرتوزوا) التي يمكن تواجدها في مياه الصرف الصحي.

نوع الكائن وحيد الخلية	الأمراض التي تسببها
البالنتيديوم كولاي	الإسهال – الدوسنتاريا – قرحة الأمعاء
الإنتاميبا هيستوليتيكا	قرحة الأمعاء – الدوسنتاريا الأميبية – خراج الكبد
الجبارديا لامبليا	الإسهال – سوء الهضم

***) الديدان الطفيلية :**

هناك عديد من الديدان الطفيلية تعتمد على الإنسان كعائل أساسي لها ، وبعض هذه الديدان تصيب الإنسان بأمراض متباينة في خطورتها.

ومن أخطر هذه الديدان الطفيلية دودة البلهارسيا ، ومنها نوع يخرج فيه البيض مع البول ، والنوع الآخر يخرج فيه البيض مع البراز.

جدول رقم (٣٣) : أهم الديدان الطفيلية التي يمكن تواجدها في مياه الصرف الصحي.

نوع الدودة الطفيلية	الإسم الشائع	المرض الذي تسببه	دورة الإنتقال
انكلستوما الإثنى عشر	الانكلستوما	الإنكلستوما	الإنسان – التربة – الإنسان
الإسكارس الخرطومية	ثعبان البطن	الغسكارس	الإنسان – التربة – النبات
الدودة الدبوسية	الدبوسية	الدبوسية	الإنسان – الإنسان
التنياساجيناتا	الدودة الشريطية	الشريطيات	الإنسان – البقرة – الإنسان
التيلسوليم	الدودة الوحيدة	الشريطيات	الإنسان – الخنزير – الإنسان
الترايكيورس ترايكيورا	الدودة السوطية	السوطيات	الإنسان – التربة – الإنسان
النمتوسوما	دودة البلهارسيا	البلهارسيا	الإنسان – القوقع – المياه – الإنسان

*) مدة إستمرار تأثير المسببات المرضية :

منذ خروج المسببات المرضية مع فضلات الإنسان تبدأ أعداد الكائنات المسببة للأمراض (المسببات المرضية) في الإنخفاض نتيجة للموت أو للمنافسة بين بعضها البعض على الغذاء أو لغير ذلك من الأسباب وتبدأ الفيروسات والبروتوزوا في الإنخفاض مباشرة أما البكتريا فقد يحدث لها أحياناً زيادة في العدد والتركيز عندما لا تكون هناك منافسة على غذائها ، وأيضاً عندما يكون الوسط مناسباً من أغلب الوجوه.

ويوضح جدول رقم (٣٤) مدد إستمرار تأثير المسببات المرضية في المياه النقية ومياه الصرف الصحي أيضاً ومن الواضح أن مدة إستمرار تأثير البروتوزوا هي أقل مدة لإستمرار تأثير المسببات المرضية تقريباً ، فمدة بقاء الانتاميبا هيستولوتيكا لا تزيد عن عشرين يوماً في مياه الصرف الصحي ، أما أكثر تلك المسببات قدرة على البقاء والحفاظ على فاعليته فهو بيض الإسكارس.

جدول رقم (٣٤) : يوضح مدد بقاء بعض المسببات المرضية في كل من الماء النقي ومياه الصرف الصحي.

نوع المسبب المرضي	مدة البقاء في الماء النقي أو مياه الصرف الصحي
الفيروسات	تصل إلى ١٢٠ يوم وعادة لا يزيد عن ٥٠ يوماً
البكتريا:	
مجموعة القولون	تصل إلى ٦٠ يوم وعادة لا يزيد عن ٣٠ يوماً
السالمونيلا	تصل إلى ٦٠ يوم وعادة لا يزيد عن ٣٠ يوماً
الشيحلا	تصل إلى ٣٠ يوم وعادة لا يزيد عن ١٠ يوماً
الكوليرا	تصل إلى ٣٠ يوم وعادة لا يزيد عن ١٠ يوماً
البروتوزوا من النوع الأنتاميبا هيستولوتيكا	تصل إلى ٣٠ يوم وعادة لا يزيد عن ١٥ يوماً
بيض الإسكارس	عدة أشهر

الجدول رقم (٣٥): نسبة إزالة الكائنات الدقيقة عن طريق المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصحي.

الوسيط المعدي	نسبة الإزالة عن طريق	نسبة الإزالة للوسيط المعدي المتبقي عن طريق المعالجات الثانوية	
		الحمأة المنشطة (%)	المرشحات الزلطية (%)
فيكال كوليفورم(*)	١٠>	٩٩-٠	٩٩-٨٥
سلمونيلا	١٥-٠	٩٩-٧٠	٩٩-٨٥
بكتيريا السل الرئوي	٦٠-٤٠	٩٠-٥	٩٩-٦٥
الشيجلا	١٥	٩٠-٨٠	٩٩-٨٥
انتاميبا هوستلوتيكا	٥٠-٠	محدودة	محدودة
بويضات الديدان	٩٨-٥٠	محدودة	٧٥-٦٠
الفيروسات المعوية	محدودة	٧٥-٩٩	٨٥-٠

(*) تحتوي مياه الصرف الصحي الخام على أعداد حوالي ٨×١٠ ^٦ وحدة لكل ١٠٠ ملليلتر.

طرق إزالة الميكروبات عند معالجة مياه الصرف الصحي :

والتطهير disinfection هو أهم عملية للقضاء على الكائنات الدقيقة الممرضة في مياه الصرف الصحي وتتم بعد المعالجة الثانوية في معظم الحالات.

وعلى مستوى جمهورية مصر العربية فإن الكلور هي المادة الأكثر شيوعاً في الإستخدام في عملية التطهير سواء لمياه الشرب أو مياه الصرف الصحي المعالجة وعلى الرغم من أن الأوزونه والأشعة الفوق بنفسيجية تستخدم عالمياً في تعقيم مياه الصرف الصحي المعالجة إلا أنها لم تستخدم في هذا المجال في مصر.

وقد نصت المادة الخامسة من اللائحة التنفيذية للقانون رقم ٤٨ لسنة ١٩٨٢ بشأن حماية نهر النيل والمجاري المائية :

" على أنه يجب تعقيم المخلفات بعد المعالجة وقبل صرفها إلى مجاري المياه العذبة ويفضل الأوزون وفي حالة إستخدام الكلور ومشتقاته يجب ألا يقل الكلور المتبقي بعد عشرين دقيقة من إضافته عن ٥ر٠ مليجرام/لتر ولا يزيد عن ١ مليجرام/لتر ".

كما نصت المادة رقم ٦٧ من ذات اللائحة " على أنه في حالة صرف مياه الصرف الصحي أو مخلفات صناعية سائلة مختلطة بمياه الصرف الصحي إلى مسطحات المياه الغير عذبة يجب بناء على طلب الجهة الصحية المختصة معالجة المياه المنصرفة بالكلور لتطهيرها قبل صرفها بحيث لا يقل الكلور المتبقى بعد عشرين دقيقة من إضافته عن ٥ر٠ مليجرام/لتر وبحيث تكون أجهزة ومواد

التطهير متوفرة وجاهزة للعمل بصفة مستمرة لإنجاز هذه المعالجة عند طلب إجرائها".

ومن أهم العوامل لتقييم جدوى البدائل المستخدمة في عملية تظهير المياه ما يلي :

*) الكفاءة في التخلص من الكائنات الممرضة.
*) التكلفة الإنشائية.
*) التكلفة الدورية للتشغيل والصيانة.
*) سهولة تداول المادة وتخزينها.
*) طرق الإضافة والتحكم والأمان.
*) التأثيرات المضادة المحتملة والأخطار التي قد تتعرض لها الأحياء المائية أو الإنسان نتيجة تكوين مواد سامة أو مسرطنة.

المواد المستخدمة في تطهير مياه الصرف الصحي المعالجة :

أولاً : الكلور :

يتم تعبئة غاز الكلور المسيل في اسطوانات تحت ضغط عال ويتم تخزينها في مواقع محطات المعالجة مع إتخاذ كافة إحتياطات الأمان اللازمة والكمية المخزنة لا يجب أن تزيد عن إحتياج المحطة لمدة شهر واحد.

تتأثير جرعة الكلور المستخدمة في تطهير مياه الصرف الصحي المعالجة للمستوى المطلوب بصورة كبيرة على المكونات الموجودة بمياه الصرف الصحي فوجود المكونات العضوية يستهلك نسبة من جزئيات مادة التطهير وهذا يحمي جزئيات الكائنات الدقيقة المراد التخلص منها من تأثير المادة المطهرة.

وتتفاعل الأمونيا بمياه الصرف الصحي مع الكلور لتكون الكلورامين والذي يعتبر نوع من المطهرات أقل كفاءة من الكلور الحر.

وعمليات جرعة الكلور المضاف تحدد من الخبرة استناداً إلى كمية الكلور المتبقي المطلوبة ومواصفات المياه المعالجة المطلوبة والكلور الذي يعتبر في تركيزاته المنخفضة سام لعديد من الكائنات المائية يمكن التحكم فيه بسهولة في مياه الإستصلاح عن طريق عملية إزالة الكلور باستخدام ثاني أكسيد الكبريت.

وفيما يلي جرعة الكلور المستخدمة حسب درجة المعالجة.

نوع المعالجة	جرعة الكلور من الخبرة العملية
المعالجة الإبتدائية	من ١٨-٢٤ ملليجرام/لتر
المعالجة الثانوية	من ٨-١٢ ملليجرام/لتر

وتعتمد كفاءة عملية الكلوره على درجة حرارة المياه والأس الهيدروجيني ودرجة الخلط ومدة التفاعل ووجود مواد أخرى قد تدخل في التفاعل وتركيز الكلور وطبيعة وتركيز الكائنات الصغيرة المراد القضاء عليها وعادة فإن البكتريا أقل مقاومة للكلور من الفيروسات والفيروسات بدورها أقل مقاومة للكلور من الطفيليات وبويضات الديدان ويجب تحديد جرعة الكلور المضافة بدقة تجنباً لتفاعل الكلور مع المواد العضوية مكوناً مواد مسرطنة أو سامة.

ثانياً : هيبوكلوريت الصوديوم :

يوجد في صورة محلول بتركيز حوالي ٣% وعليه ترتفع تكلفة نقله وتخزينه بالإضافة غلى قابليته للتحلل عند تحضيره لتركيزات مرتفعة ويتأثر هيبوكلوريت الصوديوم بالتعرض للضوء والحرارة ، لذا يجب تخزينه بمواقع باردة وخزانات مقاومة للتآكل ولا يستخدم محلول هيبوكلوريت الصوديوم في تطهيره مياه الصرف الصحي في مصر على الرغم من أنه لا يحتاج لاحتياطات أمان في نقله وتخزينه بمواقع المحطات.

ثالثاً : الأوزون :

الأوزون (O_3) وسيط مطهر قوي للغاية ومؤكسد كيمائي قوي في كل من التفاعلات العضوية والغير عضوية ونظراً لعدم إتزان غاز الأوزون في الطبيعة فيجب توليده في الموقع من الهواء أو حاويات غاز الأكسجين.

ويدمر الأوزون البكتريا والفيروسات عن طريق الأكسدة السريعة لكتل البروتين ويحدث تطهير المياه في دقائق معدودة.

ومن عيوب إستخدام الأوزون في التطهير إرتفاع التكلفة وإستهلاك الطاقة ويعتبر نظام التطهير بالأوزون أكثر تعقيداً في التشغيل والصيانة من نظام الكلوره كما أنه لا يكون له أثر متبقى في المياه المعالجة.

والأوزون ذو كفاءة عالية كمطهر في المحطات التي تستخدم مستويات المعالجة المتقدمة حيث يزيل اللون تماماً ويزيد من الأكسجين المذاب في المياه المعالجة.

رابعاً : الأشعة فوق البنفسجية : (UV)

الأشعة فوق البنفسيجية هي وسيط فيزيائي مطهر ولها إشعاع بطول موجي قدرة ٢٥٤ نانوميتر حيث تخترق الأشعة جدار الخلايا ويتم إمتصاصها بواسطو الحامض النووي للخلايا الأمر الذي يمنع إنقسام الخلايا ويتسبب في موتها.

وتلقى الأشعة الفوق بنفسجية إهتماماً متزايداً كمطهر للمياه المعالجة التي تستخدم في الزراعة لأنها في بعض الأحيان تكون أقل تكلفة من التطهير بالكلور بالإضافة غلى أنها أكثر أماناً في الإستخدام والتداول من غاز الكلور ولا تسبب في تكوين هيدروكربونات مكلوره كما يحدث في حالة التطهير باستخدام الكلور.

وتستخدم الأشعة الفوق بنفسجية في تطهير مياه الصرف الصحي المعالجة على نطاق واسع عالمياً وخاصة في الولايات المتحدة الأمريكية.

ويوضح الجدول رقم (٣٦) : كفاءة التخلص من الكوليفورم البرازي باستخدام جرعات مختلفة من الأشعة الفوق بنفسجية.

جدول رقم (٣٦) : يوضح كفاءة التخلص من الكوليفورم البرازي باستخدام جرعات مختلفة من الأشعة الفوق بنفسجية.

الجرعات بالميكرووات ثانية/سم^{٢}	محتوى الكوليفوم البرازي
٦٠	٢٣ وحدة لكل ١٠٠ ملليلتر
٩٧	٢ر٢ وحدة لكل ١٠٠ ملليلتر

والآن لماذا فكرت الدول المتقدمة في تجربة إستخدام أسلوب التعقيم باستخدام الإشعاع؟ طبعاً وبكل بساطة لعدة أسباب نوردها فيما يلي:

١) عدم توافر ساعات سطوع الشمس الكافية أغلب أيام السنة وبالتالي توقف أو بطء العمليات البيولوجية بل وتنخفض كفاءتها كثيراً خاصة مع إنخفاض درجات الحرارة وظروف تجمد المياه وبالتالي يتعذر إتمام المعالجات السابقة الإشارة إليها.

٢) سقوط الأمطار بغزارة موسمياً والجريان السطحي في الوديان لا يسمح بتوفير أراضي كافية لعمليات المعالجة مثل برك الأكسدة والتهوية وعدم توافر الأراضي التي يمكن تخصيصها لمثل هذه المعالجات.

٣) معظم هذه البلدان متقدم نووياً وشركات القطاع الخاص تقوم بتصنيع وتركيب هذه المنشآت النووية مثل المفاعلات النووية والمنتجة للمصادر

الإشعاعية المستخدمة في التعقيم على الخصوص ^{60}Co والـ ^{137}Cs ومثل إنتاج المسارعات ووحدات إنتاج التيار الإلكتروني .. وخلافه أي أنهم يملكون التقنية وتقدير على تعديل أو صيانة وزيادة إمكانياتها ولديهم الميزانيات الكافية للتشغيل والصيانة ولن يخضعوا لشروط إستيراد ورقابة دولية عليهم.

٤) إن المياه المعالجة في معظم الأحيان يعاد ضخها في خزانات جوفية مخصصة ، ولابد من ضمان عدم تلوث هذه الخزانات ولا يخفي علينا أنهم يعتمدون على المياه الجوفية كمصدر رئيسي لمياه الشرب ، وهناك قيود ومعايير صارمة بيئية على كل خطوات المعالجة أو التصرف في هذه الكميات الهائلة من المياه.

٥) نجاح أسلوب إستخدام الإشعاع في تعقيم الأغذية والمواد الطبية والأدوية وعلى مقياس صناعي وتجاري ، وتختلف الجرعات حسب الهدف من التعقيم وكمية الملوثات البيولوجية ، وهناك العديد من الدراسات في مركز تكنولوجيا الإشعاع بمصر على ذلك.

<u>والسؤال التالي : لماذا إذاً لم تنتشر هذه التكنولوجيا بالرغم من قدمها؟</u>

بالرغم من أن التجارب بدأت منذ ٥٠ عام مضى في الولايات المتحدة ، ألمانيا ، أوكرانيا ، بولندا ، المكسيك ، البرازيل والهند ، وعلى مستوى ؛ pilot plant إلا أنها إنتهت إلى بعض دراسات تقييم وتم إغلاقها في التسعينات ماعدا الوحدة الموجودة في الهند فهي الوحيدة التي مازالت تعمل باستخدام مصدر إشعاعي ^{137}Cs والهند دولة نووية يمكنها توفير هذه المصادر لنفسها.

وسبب إغلاق هذه الوحدات أنها باهظة التكلفة وعند إنشاء الوحدة سوف يبلغ إجمالي التكاليف في المتوسط ٦ مليون دولار أمريكي والمصاريف الجارية السنوية للتشغيل حوالي ٧٥٠ ألف دولار سنوياً ، هذا بخلاف عقود الصيانة والمتابعة والرقابة الدولية والمستجدات على الساحة الدولية ومشاكلها. ويبلغ تكلفة المتر المكعب من مياه المجاري من ٥ر١–٣ دولار ، أما إذا كان سيجري عملية التعقيم على الحمأة فإن الطن الواحد سوف يتكلف أكثر من ٨٥ دولار وحيث أن المنتج النهائي منخفض القيمة الاقتصادية بالطبيعة فلا يمكن أن يكون لهذا المشروع أية جدوى إقتصادية ولهذا قامت الشركات والمجالس المحلية بالمدن التي أقيم بها مثل هذه المشاريع بإغلاقها ، ومن البديهي أن الطرق التقليدية التي تكلمنا عنها تؤدي إلى نتائج متقاربة من حيث التعقيم والتخلص من الطفيليات والبكتريا

الممرضة ، وبتكلفة أقل بكثير ، وإذا علمنا أن وحدة التشعيع عبارة عن إضافة للمنشآت التقليدية ولا تغني عنها فهي إضافة باهظة لا تغني ولا تسمن من جوع.

مشكلة أخرى بديهية أن قدرة أي وحدة تشعيع محدودة للحاجة إلى تكوين فيلم رقيق من مياه المجاري أو من الحمأة المعالجة لضمان كفاءة التعقيم بالتشعيع مما يؤدي إلى قلة قدرة الوحدة على التعامل مع الكميات الضخمة المنتجة يومياً. وكما نعلم أن محطة الجبل الأصفر تستقبل مليون م^{3} يومياً وأصغر محطة في حلوان تستقبل ٣٠٠ر٠٠٠م^{3} يومياً فكيف يمكن استخدام مثل هذه التقنية عندنا!!

وقد أوضحت الشركات المنتجة لهذه الوحدات بأنه يمكن استخدام هذه الإمكانية لتعقيم مخلفات المستشفيات أو المجمعات الصحية أو في المدن الصغيرة والتي لا يتوفر عندها أراضي لمعالجة وتخزين الحمأة.

وسؤال هام : ما هي الخبرات المصرية أو العربية في استخدام التشعيع في تعقيم مياه المجاري ؟

نظراً لعدم وجود أي وحدة تشعيع مركبة على محطة معالجة فعلية أو تجريبية فإن القائمين على مشاريع بحثية مقدم من الوكالة الدولية (عشرة سنوات) أو من هيئة الطاقة الذرية العربية (٣ سنوات) يقومون بتشعيع كيس أو أكثر يحتوي كيلوجرامات من الحمأة ومنها تخرج الأبحاث التقليدية المعروف نتيجتها مقدماً ولا تمثل الوضع الواقعي وظروف التشغيل في محطة المعالجة الفعلية.

أما الخبرات المصرية في طرق المعالجة التقليدية البيولوجية والمستخدمة في جميع محطات المعالجة بمصر فهي خبرات ممتازة ومتطورة وتحقق نتائج ناجحة على مدار السنين. وهناك العديد من دراسات التقييم وتقدير الكفاءة تنتشر دورياً نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر كما يلي :

تم تقييم استخدام نظام برك الأكسدة المهواه لمعالجة مياه الصرف الصحي في مدينة الاسماعيلية ، مصر ، حيث تم التقييم بالنسبة لتحديد كفاءة النظام في التخلص من الحويصلات والبويضات الطفيلية ، بكتريا القولون البرازية ، الحمل العضوي ، المغذيات غير العضوية والعناصر الثقيلة. وقد تم إجراء التجارب خلال الفترة من اكتوبر ١٩٩٨ حتى ديسمبر ١٩٩٩ حيث تم تحليل عينات من مياه الصرف الصحي الخام وخارج وحدات المعالجة المختلفة والخارج المعالج النهائي ، وذلك من أجل تحديد معدلات التحميل لمختلف العوامل وتحديد قدرة النظام في التخلص منها تحت ظروف التشغيل الطبيعية. وكانت الكفاءة الكلية للنظام للتخلص من بويضات الديدان الطفيلية وحويصلات وحيدات الخلية هي على الترتيب ٩٩ر٢ ، ٩٨ر١% ، بينما كانت الكفاءة الكلية للتخلص من بكتريا

القولون البرازية هي ٧٥ر٩٩% وبالنسبة غلى الأكسجين الحيوي المستهلك ، الأكسجين الكيماوي المستهلك ، المواد الصلبة العالقة والمواد الصلبة المتطايرة ، حيث كانت كفاءة التخلص هي على الترتيب ٦٩% ، ٧٤% ، ٨٨% ، ٨٧% وكانت الكفاءة الكلية للنظام للتخلص من العناصر الثقيلة (الكادميوم ، الكروميوم والزئبق) هي على الترتيب ٣ر٣٣% ، ١٠٠% ، ٧ر٦٦% ، على العكس ، ولم تكن هناك كفاءة للنظام للتخلص من العناصر الثقيلة الأخرى (النيكل ، الرصاص ، النحاس ، الزنك ، والكوبلت) أيضاً ، ولم تكن هناك كفاءة بالنسبة للتخلص من الأمونيا والفوسفات.

<u>ما موقف القوانين المنظمة لإعادة إستخدام المياه المعالجة ؟</u>

القوانين المصرية المنظمة لإعادة إستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة تبدأ بالقانون رقم ٩٣ لسنة ١٩٦٢ في شأن صرف المخلفات السائلة والقانون رقم ١٢ لسنة ١٩٨٤ بشأن غصدار قانون الري والصرف ، والقانون ٤٨ لسنة ١٩٨٢ في شأن حماية النيل والمجاري المائية ، ثم قانون رقم ٤ لسنة ١٩٩٤ في شأن حماية البيئة (المادة التاسعة عشر والعشرون) وأخيراً القرار الوزاري رقم ٢٨٨ لسنة ٢٠٠٠ ورقم ٣٢٩ لسنة ٢٠٠١ وتشكيل اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصري لاستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة والحمأة الناتجة من محطات الصرف حيث أعدت اللجنة الكود المصري بالكامل في يوليو ٢٠٠٤ وبصدد إعتماده رسمياً في القنوات الشرعية.

<u>والسؤال الأخير الذي يطرح نفسه كيف نتعامل مع الحمأة المتولدة بعد المعالجة ؟</u>

طبقاً لتقرير الاستشاريون والشركة الأمريكية البريطانية المنفذة لمشاريع مجاري القاهرة الكبرى (١٩٨٩) فإن كمية الحمأة التي سوف تنتج في القاهرة الكبرى وحدها سوف يبلغ مقدارها ٣٦٦٨ طن/يوم بحلول سنة ٢٠١٠ فإذا علم أن المتولد من الحمأة في سنة ١٩٩٥ كان ١٨٧٥ طن/يوم فيمكن التنبؤ بأنه بحلول عام ٢٠١٠ سوف ينتج ما يزيد عن ٣٤ر١ مليون طن مادة جافة وهذا الكم الهائل من الحمأة المتولدة ليس في القاهرة وحدها وينتج كميات كبيرة من كل محطة معالجة على مستوى الجمهورية.

والحمأة غير الملوثة بالمخلفات الصناعية يمكن استخدامها وإعادة تدويرها كمصلحات للتربة الرملية والجيريةوكسماد عضوي مصنع بالعديد من الطرق المعروفة والتي نجح تطبيقها في مصر في العديد من الدراسات (على الدين ١٩٩٣ ، عبد الصبور ٢٠٠٠ ، سمير وآخرون) وسوف نشير باختصار غلى أساليب معالجة الحمأة والتي تتلائم مع ظروفنا المصرية وتنقسم إلى قسمين :

أولاً : المعالجة الهوائية : وتشمل

١) طريقة الكمر المزدوج للحمأة مع مخلفات عضوية أخرى.
٢) طريقة استخدام بعض المواد الكيميائية مثل الجير الحي أو تراب الأسمنت.
٣) طريقة استخدام بعض الطحالب البحرية.

ثانياً : المعالجة اللاهوائية : وتشمل

١) إنتاج الغاز الحيوي والسماد العضوي من مخلفات الحمأة منفردة.
٢) إنتاج الغاز الحيوي والسماد العضوي من مخلفات الحمأة بعد إجرائها بإضافة مواد عضوية بنسب معينة.
٣) إنتاج الغاز الحيوي والسماد العضوي تحت نظام الحرارة المرتفعة ٥٥ ^{o}م.
٤) إنتاج الغاز الحيوي والسماد العضوي باستخدام تكنولوجيا فصل المرحلة الحامضية ومرحلة التخمر الميثاني.

وكل هذه الطرق ذات كفاءة عالية في القضاء على البكتريا الممرضة والطفيليات المختلفة والتي يتركز وجودها بكثافة عالية في حمأة المجاري والسماد العضوي الناتج يشبه السماد البلدي المتحلل في مظهره مع خلوه من بذور الحشائش ومسببات الأمراض البكتيرية والفيرومين أو بويضات الطفيلات (أنظر قائمة المراجع) مع إرتفاع قيمته السمادية.

ومن الجدير بالذكر أن هذه الطرق توفر عمالة وإستثمارات محلية ولا تحتاج لتدخل أجنبي أو رقابة دولية ، كما في حالة لو أدخلنا طريقة تعقيم الحمأة بالإشعاع بالإضافة إلى أن الطن لا يتكلف أكثر من ١٠٠-١٥٠ جنيه مصري في أن استخدام الإشعاع يرفع التكلفة إلى ٨٥ – ١٧٠ دولار أمريكي/طن.

الأمـــــان الـنووي والحوادث الـنووية

مقدمة

إن قضايا الأمان النووى ، والوقاية من الإشعاع تعتبر أهم قضايا الطاقة النووية على الاطلاق تسبب قلقاً شديداً لدى الانسان عامة ، ويرجع هذا لعدة اسباب لعل ابرزها هو الغموض الذي يغلف اخطار الاشعاع فالاشعاعات المؤينة مثلا تصيب الانسان دون أن يشعر بها اثناء التعرض فلا صوت ولا ضوء ولا رائحة ، كما أن هناك الكثير من الأثار الضارة التي قد لا تظهر قبل عشرات السنين من التعرض ، ولا تقتصر آثار التعرض في بعض الاحيان على الشخص أو المكان الذي تعرض للاشعاع فقط مثل باقي ملوثات البيئة انما تمتد التأثيرات البيولوجية (الحيوية) للاشعاعات المؤينة إلى الاجيال المتعاقبة من الكائنات الحية سواء كانت إنساناً أو حيواناً أو نباتاً محدثة طفرات ضارة في الصفات الوراثية تختلف من شخص لآخر أو من نبات لآخر بحسب قوانين الاحتمالات.

وتنبعث الأشكال المختلفة من الاشعاعات بطاقات مختلفة من النويات المشعة وتتفاوت في قوة نفاذها وكذلك في مدى تأثيرها على الاشياء الحية ، فمثلا اشعاعات الفا مع حملها الثقيل من النيوترونات والبروتونات يتم ايقافها بواسطة ورقة عادية كما انها تستطيع بالكاد ان تنفذ في الطبقة السطحية الميتة من الجلد ، وعلى ذلك فإن تلك الإشعاعات لا تمثل خطورة إلا إذا دخلت المواد التي تنبعث منها هذه الجسميات إلى داخل الجسم عن طريق الطعام أو التنفس أو الجروح وفي هذه الحالة فإنها تكون ضارة بدرجة كبيرة ، وإشعاع بيتا أكثر نفاذية وهو يخترق سمكاً قدره ١-٢سم من الانسجة الحية ، أما إشعاع جاما الذي ينتقل بسرعة الضوء فهو نفاذ بدرجة عالية جداً ويمكنه النفاذ خلال اية مادة مثل قالب من الرصاص أو الخرسانة .

إن الطاقة التي يحملها الاشعاع هي التي تسبب التلف ، وتسمى كمية الطاقة المودعة في النسيج الحي " بالجرعة " ، ويعبر عن الجرعات بطرق مختلفة تعتمد على حجم الجزء المشعع من الجسم ونوعيته كما تعتمد ايضاً على ما إذا كان المتعرض فرداً واحداً أو افراداً عديدين وكذلك على طول فترة التعرض ، وتسمى كمية طاقة الاشعاع التي يمتصها كيلو جرام واحد من النسيج باسم الجرعة الممتصة وتقاس بوحدات تسمى الجراى (GRAY) ولكن هذه الجرعة لا توضح الامور كلها لان نفس الجرعة من اشعاع الفا تسبب تلفاً أكبر بكثير مما تحدثه الجرعة المساوية لها من اشعاع بيتا أو جاما.

وعلى ذلك فإنه يجب أن تكون الجرعات موزونة بالنسبة لقدرتها على احداث التلف مع تحميل اشعاع الفا وزناً يعادل ٢٠ ضعفاً بالنسبة للاشعاعات الاخرى ، وتعرف الجرعة الموزونة باسم " الجرعة المكافئة " وتقاس بوحدات تسمى سيفرت (SIEVERT).

المصادر الطبيعية للاشعاع :

يأتي الجزء الاكبر من الاشعاع الذي يتعرض له سكان العالم وإلى حد بعيد من المصادر الطبيعية ، ولكن بالرغم من ان الناس جميعاً على سطح الارض يتعرضون للاشعاع الطبيعي فإن بعضهم يتعرض لكمية تزيد عما يتعرض له الآخرون وقد يعود ذلك إلى موقع المكان الذي يعيشون فيه أو بسبب نمط حياة الناس ، إن استخدام انواع معينة من مواد

البناء في تشييد المنازل وإستخدام الغاز الطبيعي ومواقد الفحم واحكام غلق المساكن وحتى السفر بالجو يزيد جميعه من التعرض للاشعاع الطبيعي.

أ - الاشعة الكونية :

إن حوالي ثلث ما يتعرض له الانسان من الاشعاع الطبيعي الخارجي يأتي من الاشعة الكونية ، وليس هناك مفر من هذا الدش العالمي المتواري عن الانظار الذى يؤثر على بعض الاماكن من الكرة الارضية أكثر من غيرها فتحصل المناطق القطبية على كمية أكبر من الاشعاعات مما تحصل عليه المناطق الاستوائية ، ويزيد التعرض للاشعاع بزيادة الارتفاع عن سطح البحر ، وبالنسبة للفرد الذي يعيش عند مستوى سطح البحر فإنه يتلقى في المتوسط جرعة فعالة قيمتها ٣٠٠ ميكرو سيفرت (الميكروسيفرت واحد على مليون من السيفرت) من الأشعة الكونية كل عام جدول (١) ، وتعرض الرحلات الجوية المسافرين وأطقم الطائرات إلى معدلات جرعة أكبر ولو أنها تكون لفترات قصيرة في المرة الواحدة ، فمثلا تتسبب الرحلة من نيويورك إلى باريس والعودة في تعريض المسافر إلى نحو ٥٠ ميكروسيفرت ، وتشير الدراسات حديثاً إلى تعرض المضيفات الجويات إلى احتمالات الاصابة أكبر بسرطان الثدي نتيجة التعرض للاشعاع .

ب - الاشعاع الارضي :

أن المواد المشعة الرئيسية الموجودة في الصخور هي البوتاسيوم-٤٠ والروبيديوم-٨٧ وسلسلتان من العناصر المشعة ناتجتان من تفكك اليورانيوم- ٢٣٨ والثوريوم-٢٣٢ وهما النويتان المشعتان ذات عمر النصف الطويل واللتان بقيتا في الارض منذ خلقها الله.

وأوضحت الدراسات أن نحو ٩٥% من البشر يتعرضون لجرعة متوسطة ما بين ٠,٣ - ٠,٦ ميللي سيفرت ، وتوجد اماكن في العالم تكون فيها مستويات إشعاع الارض أعلى بكثير ، فمثلا توجد تلة صغيرة بالقرب من مدينة يوسوس كالداش شمال مدينة سانيا ولو في البرازيل بلغت معدلات الجرعة الاشعاعية فيها حوالي ٢٥٠ ميللي سيفرت في العام ، وفي بعض الشواطيء الرملية الغنية بالثوريوم يتعرض الافراد إلى جرعات تتراوح ما بين ٣,٨ - ١٧ ميللي سيفرت سنوياً كما في الشاطئ الجنوبي الغربي من الهند ، وتقدر اللجنة العلمية للطاقة الذرية أن سكان العالم يحصلون في المتوسط على جرعة فعالة تصل إلى حوالي ٤١٠ ميكروسيفرت في العام للفرد من الاشعاع الأرضي الخارجي الطبيعي.

وبوجه عام فإن ثلثي الجرعة الفعالة التي يتلقاها الانسان من المصادر الطبيعية تأتي من المواد المشعة الموجودة في الهواء الذي يتنفسونه ومن الطعام الذي يأكلونه والماء الذي يشربونه وهذا ما يسمى بالاشعاع الداخلى ، وعادة مايحصل الفرد على ١٨٠ ميكروسيفرت في العام من البوتاسيوم - ٤٠ والذي يمتص في الجسم مع البوتاسيوم غير المشع ويأتي الجزء الاكبر من هذه الكمية من العناصر الناتجة عن تفكك اليورانيوم-٢٣٨ وبدرجة أقل عن تفكك الثوريوم-٢٣٢ ، ومن الجدير بالذكر أن المواد المشعة غالباً ما تسلك مسارات معقدة في البيئة قبل وصولها إلى الانسان ، فمثلاً الأفراد الذين يقطنون في القطب الشمالي ويعتمدون في معظم طعامهم على لحم حيوان الرنة والذي يحتوي على

جدول (١) مكونات التعرض الاشعاعي الطبيعي للانسان

أهـم مكونـات التعـرض الاشعاعي الطبيعي للانسان	الجـرعـة
١. الاشعة الكونية :	ويتعرض الانسان العياري في الثانية الواحدة لحـوالي ٢٨ نيـوترون ، ١١٠ جسيم ثانوي (الكترون) ، وتؤدى هذه الاشـعاعات لجرعـة مكافئـة سـنوية مقدارها حوالي ٣٠٠ ميكروسيفرت (٣٠ ميللي رم).
٢. الاشعة الصادرة عـن التربة والمسكن :-	يمر خلال جسم الانسان العياري حوالي ٥٥٠٠ شعاع جاما كل ثانية ، ويؤدي ذلك لجرعة مكافئة سنوية مقدارها ٤٠٠ ميكروسيفرت (٤٠ ميللي رم).
٣. النويـات المشعة فـي هواء التنفس : -	وتتضمن النويات المشعة الثقيلة الناتجة عن تفكك سلسلتى اليورانيوم -٢٣٨ والثوريوم-٢٣٢ الموجودتين في الطبيعة (وأهـم هـذه النويـات الـرادون والبولونيوم والرصاص) وتصل كميتها في الرئتين إلى حـوالى ٨ بيكريـل تؤدى إلى جرعة مكافئة سنوية حوالي ٨٠٠ ميكروسيفرت (٨٠ ميللي رم) .
٤ . النويـات المشعة فـي الغـذاء والمـاء الـذى تتناوله : -	نتيجة للغذاء الذي نتناوله يحتوي جسم الانسان العياري على : ١) ٤٢٠٠ بيكريل بوتاسيوم ـ ٤٠ يؤدى إلى جرعة مكافئة سنوية مقـدارها ١٨٠ ميكروسيفرت (١٨ ميللي رم). ٢) ٢بيكريل من اليورانيوم والثوريوم الطبيعي تؤدي لجرعـة سـنوية ٢٠٠ ميكروسيفرت (٢٠ ميللي رم). ٣) ٣٢١٠ بيكريل كربون ـ ١٤ يؤدي إلـى جرعـة مكافئـة سـنوية ١٠ ميكروسيفرت (١ ميللي رم).

تركيزات عالية من البولونيوم-٢١٠ المشع حيث تتغذى الحيوانات خلال فصل الشتاء علـى الاشنه التي يتركز فيها فيتوقع أن يتعرض هؤلاء الأفراد إلى جرعـات مـن البولونيـوم - ٢١٠ تزيد ٣٥ ضعفاً عن المستويات العادية ، إذ يوجد في العديد مـن الاغذيـة كميـات متفاوتة من النويات المشعة ، ويعتمد تركيز هذه النويات في الاغذية علـى نـوع المـادة الغذائية وعلى التربة والبيئة التي نمى الكائن الحي (النبات أو الحيوان) فيهـا فعلى سبيل المثال تحتوي الاسماك والمحار على نسب تركيـز كبيـرة نـسبياً مـن الرصـاص-٢١٠ والبولونيوم-٢١٠ (وهما من نواتج سلسلة تفكك الراديوم) المشعين ، كذلك يحتوى لحـم الرنة والأغنام على نسب معينة من هاتين النويتين ، كذلك توجد العديد من الاطعمة الغنيـة بالبوتاسيوم كالعدس والفول والفاصوليا وتحتوي هذه الأطعمة علـى نـسبة عاليـة مـن البوتاسيوم-٤٠ المشع الذي يتوفر بنسبة طبيعية في البوتاسيوم-٣٩ (تصل إلى ٠,١٢%) ، ويبين الجدول التالي تركيز بعض المواد المشعة في بعض انـواع الاغذيـة . ويوضـح جدول (٢) نسب بعض المواد المشعة في المواد الغذائية .

ويسهم الرادون بحوالى ثلاثة ارباع الجرعة الفعالة الداخلية السنوية التـى يحـصل عليها الفرد من المصادر الأرضية ، وينتج معظم هذة الجرعة من استنشاق النويات المشعة خاصة فى الاماكن المغلقة حيث يتركز الرادون سواء عن طريق تسربه من التربـة الـى السطح او بالتسرب من المواد المستخدمة فى البناء ، وحديثاً ثبت ان ماء الابار العميقـة و الغاز الطبيعى يساهمان بجزء من التعرض لإشعاع غاز الرادون وتقدر اللجنة العلمية للطاقة الذرية أن حوالى ١٠% من سكان العالم يشربون ماء به أكثر من مائة آلاف بيكريـل / م^{3} وأن حوالي ١% من السكان يستهلكون مياة تحتوي على مليـون بيكريـل / م^{3} ، وعلـى مستوى العالم ككل تقدر الجرعة الفعالة الكلية الناتجة عن التعرض لغاز الـرادون ونـواتج

تفككه عادة بحوالي ١,٢ ميللي سيفرت في السنة ، أي ما يقرب من نصف القيمة المقــدرة للجرعة الكلية من جميع مصادر الاشعاع الطبيعي .

ومن المصادر الطبيعية للاشعاع ما يتواجد في عروق الفحم وتوضــح التقــارير أن إنتاج جيجاوات / سنة من الطاقة الكهربائية باستخدام الفحم قد يتسبب في ٤ سيفرت / فرد من تلازم الجرعة الفعالة الجماعية مما يعني أن محطات القوى الكهربائية التي تعمل بالفحم تنتج سنوياً نحو ٢٠٠٠ سيفرت / فرد.

جدول (٢) المواد المشعة الموجودة طبيعيا بالاغذية

المادة الغذائية	راديوم-٢٣٦ (بيكريل / كجم)	رصاص-٣١٠ بيكريل / كجم	بوتاسيوم-٤٠ بيكريل / كجم
الدقيق	٠,١	٠,٠٥	٢٢
العدس	–	–	٢٧٤
الفول	–	–	٣٧٠
الفاصوليا	–	–	٣٥٠
اللبن	٠,٠٢	٠,٠٢	٤٥
اللحم البقرى	٠,٠٢	–	٩٣
السمك و المحار	٠,٢٢	٠,٢٢	٧٨
المكرونة	٠,٠٨	٠,٠٤	٤١
البيض	٠,٢٢	٠,٠١	–
الكاكاو	–	–	٣٢٩
صلصة طماطم	–	–	٢٦٣
التفاح	٠,٠٢	–	–

وخام الفوسفات والذي تنتج منه الأسمدة الفوسفاتية يحتوي على تركيزات عالية من اليورانيوم وتوضح التقديرات أن صناعة الفوسفات ترفع قيمــة تــلازم الجرعــة الفعالــة الجماعية حوالي عشرة آلاف سيفرت / فرد / سنة.

المصادر الصناعية :

تعلم الانسان ان يستخدم قوة الذرة في مجالات عديدة ابتداءً من بالطب وحتى أسلحة الدمار الشامل مما يزيد من الجرعة الاشعاعية التي يتعــرض لهــا الإنــسان ، إذ يقــدر أن التشخيص بالاشعة السينية وحدها يساهم بحوالي ٢-٥ مليون سيفرت / فرد / ســنة فــي حين تساهم التعرضات المهنية بعشرة الاف سيفرت / فرد ويساهم إنتــاج القــوى بالطاقــة النووية بحوالي الف سيفرت / فرد فقط.

أ- العلاج الطبي :

وتتفاوت الجرعات الناتجة عن التشخيص بالأشعة تفاوتاً كبيراً من دولة إلى دولة بل وداخل نفس الدولة ، وقد اظهرت الدراسات العديدة في المانيا والمملكة المتحدة والولايــات المتحدة الامريكية ان الجرعات التي تودعها حزمة الاشعة السينية عنــد دخولهــا الجــسم تتفاوت بمقدار مائة مرة وأن المنطقة التي تتعرض للاشعاع تصل احياناً إلى ضعف المنطقة التي ينبغي تعرضها وإن كثيراً من اجهزة التشعيع ضعيفة الاداء وبالتالي تؤدي إلى تعرض الافراد لجرعات غير ضرورية ويمكن خفضها بتحسين كفاءة هذه الاجهزة ، وينبغي التنويه

إلى ان مئات الملايين من الجرعات الصغيرة التي تعطى خلال فحوص الاشعة السينية كل عام تفوق كثيراً الجرعات العالية قليلة العدد التي تعطى لمرضى السرطان.

ب- التفجيرات النووية :

أدت التفجيرات النووية في الجو إلى تعرض الانسان للاشعاع من التساقط الذرى ، ففي الفترة من ١٩٥٤ - ١٩٦٢ قامت امريكا وروسيا وبريطانيا بالعديد من التفجيرات النووية في الجو مما نتج عنه تزايد التعرض للاشعاع من التساقط الذري مما حدا بهذه الدول الثلاث بتوقيع معاهدة الحظر الجزئي على التجارب النووية في الجو والمحيطات والفضاء الخارجي ، وقد تلقى نصف الكرة الشمالي حيث تمت معظم التجارب النووية غالبية التساقط ، وفى أقصى الشمال تجمع لدى رعاة الرنة جرعات من السيزيوم-١٣٧ تزيد ما بين ١٠٠ إلى ١٠٠٠ ضعف المستويات العادية ، والجدير بالذكر أن نويات السيزيوم-١٣٧ والاسترانشيوم-٩٠ والزركونيوم-٩٥ والكربون-١٤ هى أكثر النويات المسئولة عن تعرض البشر للإشعاع بالتساقط الذرى.

ج- الحوادث النووية :

مثلما يحدث في أي نشاط بشري تقع الحوادث حتماً عند تداول المواد المشعة ففي الفترة بين عامي ١٩٤٤ - ١٩٨٧ تم تسجيل ٢٨٤ حادثة نووية في العالم اجمع بخلاف كارثة تشرنوبل ، ولقد تأثر من هذه الحوادث ١٣٥٨ شخصاً ومات منهم ٣٣ شخص ، ونتجت معظم هذه الحوادث عن تداول خاطىء للمصادر الصناعية الناشئ عن اهمال العاملين ، ومن امثلة هذه الحوادث :

١- في عام ١٩٨٣ في مدينة جيوداد جواريز بالمكسيك تعرض ٣٠٠ - ٥٠٠ شخص للاشعاع عندما وجد مصدر مجهول من الكوبلت-٦٠ المشع طريقه ضمن شحنة من الخردة المعدنية ثم إنتهى به الأمر إلى خزان الصهر بمصنع للحديد والصلب وتم انتاج ٥٥٠٠ طن حديد تسليح منها ١٨٠٠ طن قواعد معدنية لنوع من المناضيد تم تصديرها إلى عديد من البلدان مما ادى إلى انتشار أوسع للتلوث الاشعاعى في الولايات المتحدة الامريكية وبلاد امريكا الجنوبية بل وصلت منه شحنة إلى بلاد عربية ، وتم إكتشاف هذا التلوث بالصدفة فسحبت هذه المنتجات على أثر ذلك وأعيدت إلى المكسيك.

٢- وفي حادثة مشابهة تم اكتشاف نشاط اشعاعي في مواسير من الصلب بولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة كان قد تم استيرادها من تايوان حيث حدث خطأ مماثلاً وتم خلط مصدر كوبلت-٦٠ في الخردة التي استعملت لصنع المواسير.

٣- وفي المغرب ماتت اسرة بأكملها مكونة من ثمانية افراد في مدينة المحمدية عندما التقط احد المارة مصدر ايريديوم - ١٩٢ تم استخدامه في قياس طرق الانشاءات وحمله إلى منزله.

٤- وقد حدث في مدينة جوانيا بالبرازيل عام ١٩٨٧ أن تلوث حوالي ٢٤٠ شخص عندما أخذ تاجر خردة مصدر سيزيوم-١٣٧ للبيت وفتحه عنوة وقد نتج عن ذلك وفاة أربعة أشخاص.

٥- وقد وقعت حوادث في المنشآت النووية أيضاً فقبل حادثة تشرنوبل حدثت اسوأ حادثتين عام ١٩٥٧ حين وقع انفجار كيميائي فى خزان يحتوى نفايات نووية في جنوب الاورال بالاتحاد السوفيتي ونتج عنه تسرب ٧٤ كوادر يليون (الكوادريليون = $١٠^{١٥}$ بيكريل) من المواد المشعة وفي نفس العام في انجلترا حدث حريق في المفاعل الاول لانتاج البلوتونيوم ادى إلى انطلاق كمية من المواد المشعة .

٦- في عام ١٩٩٣ في انقرة-تركيا جري تغليف ثلاثة مصادر مهجورة من الكوبالت-٦٠ كانت استخدمت في المعالجة الطبية بقصد اعادتها الي الولايات المتحدة ولكن لم يتم شحنهم بل تم تخزينهم بدون اذن في مقر الشركة ومع مرور الزمن نقل اثنان من المصادر الي استنبول وتم ايدعهم في مخزن فارغ والذي تم بيعه في نوفمبر ١٩٩٨ وقام المشترين ببيع هذه المصادر كمعادن خردة وقام المشترون في ديسمبر من نفس العام بتفريغ الحاويات الواقية مما عرضهم واخرين للاشعاع وعانوا من غثيان وتقيؤ وفي مرحلة معينة تم القاء قطع من الحاويات المفرغة وواحد من المصدرين المكشوفين في منطقة سكنية في ساحة للخردة ودخل ١٨ شخص المستشفي واشتبه الاطباء بحدوث تعرض لاشعاع وليس تسمم غذائي كسبب للمرض ، عشرة منهم اظهروا اعراض متلازمة اشعاع شديدة وخضع خمسة منهم لعلاج دام ٤٥ يوما واستطاعت السلطات استرجاع مصدر واحد فقط قبل ان يخضع للصهر. وقصة شبية حدثت في فبراير ٢٠٠٠ في تايلاند حيث توفي ثلاثة وتعرض ١٨٧٠ شخص يعيشون في نطاق ١٠٠ متر من موقع ساحة للخردة حيث تم فتح مصدر مغلف للكوبالت-٦٠ باستخدام شعلة الاكسجين والاستلين.

ان الامن غير الكافي علي المصادر وغياب التفتيش الدوري المناسب للمصادر المغلفة كانا العاملين الرئيسين في السماح بحدوث هذا البيع غير المرخص. وحالة مشابة حدثت في مصر في قرية ميت حلفا بالقليوبية حيث عثر فلاح بسيط علي اسطونة صغيرة لامعة في حقلة حيث كان مقاول تابع لشركة بترول يقوم بمد مواسير تحت الارض لخط بترول وظن الفلاح ان هذة القطعة من معادن ثمينة كالذهب الابيض او البلاتين فالتقطها ووضعها في جيبة وذهب بها الي منزلة (فالحقيقة كانت هذه القطعة مصدر مغلف من الايرديوم المشع وكان موجود ضمن جهاز للكشف عن سلامة لحامات المواسير باستخدام اشعة جاما وسقط سهو من عمال المقاول) حاول الفلاح فتح المصدر بالقوة ولكنة فشل فاخذ يبرد بعض من المعدن وذهب ببعض البرادة الي جواهرجي طامعا في الثروة التي يمكن ان يحصل عليها ولما اخبرة الاخير ان هذا المعدن ليس ثمين فعاد الي بيته ووضع المصدر فوق الدولاب في غرفة نومه وطبعا تعرضت الاسرة لكميات من الاشعاع مختلفة حيث ظهرت اعراض التقيؤ والاسهال والغثيان عل الاب وابنيه والام وما هي الا ايام حتي مات الاب والابن الاصغر كما تم بتر اصابع الابن الاكبر مع اصابته بحروق شديدة وعندما تبين لمستشفي الحميات ان هذا قد يكون عرض للتعرض للاشعاع قامت السلطات بتفتيش منزلة وقياس الاشعاع وبحث اي امكانية للتلوث وتم استرجاع المصدر المشع. ان الجهل في التعرف علي رمز الاشعاع ذو الثلاث وريقات واموجود علي كل مصدر مشع من قبل هؤلاء الذين حاولو تفكيك المصدر كان ايا عاملا مهما في اعداد المتأثرين ومن الواضح ان السبب الجذري للمشكلة كان في سوء ادارة المصادر المشعة خاصة بعد تكهينها.

٧- في عام ٢٠٠٠ كان احد العاملين يفكك كاشف اشعاعيا اثناء عملة في محطة انتاج كهرباء نووية فرنسية وطبقا لاصول الامان يخضع العامل الي فحص تام للكشف عن اي تلوث ومن الغريب ان النتائج اوضحت ان العامل نفسة لم يتعرض للتلوث ولكن وجد ان جزاء من السوار المعدني لساعتة كانت مشعة وبين تحليل معمق ان دبابيس فولازية في السوار قد تلوثت من مادة الكوبالت-٦٠ المشع. وبالبحث وجد ان الساعة ضمن اخرين جاءت من هونج كونغ حيث جري تجميعها اما مصدر التلوث فقد جري تتبعه وصولا الي مصنع صغير في الصين كان قد زود الفولاذ المكون لدبابيس السوار وتبين ان مصدر معالجة اشعاعية لمرضي السرطان كان قد جري صهره عن غير قصد كخردة في هذا

المصنع وتم اكتشاف مائة كيلوجرام من الفولاذ الملوث كانــت معــدة للتــصنيع كمنتجــات استهلاكية ونود ان نلفت النظر انة يمكن ان تستورد سلع استهلاكية ملوثة اشعاعيا وتعرض العديد من الناس لجرعات منخفضة من الاشعاع دون ان يدرون ولهذا يجب مراقبة كــل مــا يستورد للحد من هذه الاخطار.

وقــد وضعت معايير للامان وللحماية الذاتية من الحوادث فــي المنــشآت النوويــة ولكنها لم تمنع من حدوث حوادث أخرى مثل حادثة محطة القوى في ثرى مايل ايلانــد فــي الولايات المتحدة الامريكية في ٢٨ مارس عام ١٩٧٩ ، حيث بدأت حرارة احــد المفــاعلين الموجودين في المحطة في الارتفاع اكثر مما ينبغي. حيث ادي خليط من الاخطاء الميكانيكية والبشرية الي ارتفاع شديد في المفاعلمما هدد بحدوث انفجار كانت ســتنبعث علــي اثــرة كميات ضخمة من الاشعاعات المميتة تهدد سلامة ربع مليون نسمة بوسط بنسلفانيا وهــرع الالاف من السكان المذعورين الي الهروب من المدينة وتشاجر عدد كبير مــن الــسياسيين والمسؤلين بالمحطة وخبراء اللجنة التنظيمية النووية حول ما يمكن فعلة في هذه الازمــة. وظهر ان احتياطات الامان والحماية قد ساعدت كثيراً في منع انطلاق المواد المشعة للبيئــة وقللت من التأثيرات الضارة وجعلتها فى أضيق نطاق. وعلي رغم ان الكارثة تم تفاديهــا الا ان الايام الخمسة التي استغرقتها لن تمحي ابدا من ذاكرة العالم. وقد تم تقدير الجرعة الكلية لحوالي مليونين من السكان المحيطين بالمنطقة بحوالي ٣٣٠٠ فرد/ريم وفي حــدود هــذه الجرعة فان تقدير الوفيات المحتملة بالسرطان يصل الي حــوالي ٠,٦٦ حالــة باحتــساب التقدير المتحفظ بأن هناك حالة لكل ٥٠٠٠ فرد/ريم ولذا فيمكن اعتبار آثار حادثة جزيــرة الاميال الثلاثة بكل ابعادها لاتتعدي حالتي وفاة اضافيتين بالسرطان فيما بين مليــونين مــن السكان.

و في عام ١٩٨٦ حدثت اكبر واخطر حادثة نووية حتى الآن وهى المعروفة باســم "تشرنوبيل" حين كان المسؤلون عن محطة القوى النووية بتــشرنوبيل يقومــون بــبعض التجارب تجاهلوا خلالها قواعد الأمان المفروضة ففقدوا القدرة على التحكم في المفاعل الذي ارتفعت قدرته خلال اربع ثوان فجائياً إلى ١٠٠ ضعف مستوى القدرة العادية مما أدى إلــى انفجار المفاعل وقذف اجزاء من قلب المفاعل خارج المبني وانطلقت كميات هائلة من المواد المشعة على مدى عشرة ايام ، وخلال هذه الايام تغير اتجاه الرياح مما ادى إلى نشر سحب الهواء الملوث فوق اوربا كلها فحملت الرياح الجنوبية الشرقية هذه المواد فــوق الاجــزاء الغربية للاتحاد السوفيتي وأوصلتها إلى فنلندا والسويد وحملت الرياح الشرقية سحابة ملوثة ثانية إلى الاجزاء الشرقية والوسطى من اوروبا فوصلت سويسرا وشمال ايطاليا وفي هــذه المناطق هبت رياح جنوبية حملت المواد المشعة إلى الشمال فوق كل من فرنــسا وهولنــدا وبريطانيا وأما السحابة الثالثة فكانت في اتجاه الجنوب مارة برومانيا ويوغوسلافيا وبلغاريا حتى وصلت اليونان ، واظهرت التقارير ان المواد المشعة قد وصلت إلى اماكن اخرى مــن بينها اسبانيا واسرائيل وتركيا والكويت ، وقــد ظهر أن هناك نموذج معقد مــن انبعاثــات المواد المشعة وحركة الرياح المتغيرة يساهم في تشتتها في بقاع كثيرة ، حيــث لــوحظ أن المواد المشعة قد وصلت إلى اليابان والهند والصين في الايام التالية ، وظهــر ان نمــوذج تساقط الغبار الذري اكثر تعقيداً مما كان يعتقد ، وقد قدرت اللجنة العلمية أنه قد تساقط ٧٠ كوادر يليون بيكريل من نويات السيزيوم-١٣٧ ، وقد تساقط ٤٢% من هذه الكميــة فــي الاتحاد السوفيتي وتساقط ٣٧% منها على أوربا وتساقط ٦% منها على المحيطات وتوزع الباقي فوق اليابس من نصف الكرة الشمالي ، كما انطلقت حوالي ٣٥ كوادر يليون بيكريــل من السيزيوم-١٣٤ و٢٣٠ كوادر يليون بيكريل من اليود - ١٣١ يمكــن أن تكــون قــد

انطلقت للبيئة ، وتشكل هذه النويات الثلاث المصدر الرئيسي لجرعات الاشعاع الناتجة عن هذا الحادث ، وقد حصل الناس على جرعات من الاشعاع في هذه الحادثة باربعة اساليب فقد تعرضوا للتشعيع المباشر بسبب الاشعاعات الصادرة عن السحابة اثناء مرورها وتنفسوا الهواء الملوث بالنويات المشعة وحصلوا على جرعات اشعاعية خارجية من التربة التي تأثرت بالتساقط واخيراً فقد استهلكوا الغذاء الملوث ، ويعتبر تلوث الاغذية هو الاخطر لأنه المسؤول عن الجرعة الاشعاعية على المدى البعيد حيث تكون النويات المشعة قصيرة العمر مثل اليود-١٣١ هي المؤثرة خلال الشهر الأول بعد التساقط بينما نويات الروثينيوم-١٠٣ والروثينيوم-١٠٦ تساهم لعدة شهور بعد التساقط ثم يصبح السيزيوم-١٣٤ هو المؤثر لعدة سنين بينما السيزيوم-١٣٧ يساهم بجرعات لعدة عقود ، ويتراوح التلوث في الاغذية تراوحاً كبيراً حيث تتداخل العوامل الجوية وهطول الامطار مع حركة الرياح وظروف الموسم الزراعي والممارسات الزراعية في المنطقة فى تحديد جرعة التلوث بالمواد المشعة.

ولقد أدت إجراءات الطوارئ الوقائية في كل من الاتحاد السوفيتي واوروبا إلى خفض الجرعات الكامنة الناتجة عن الحادثة ، فقد تم تهجير حوالي ١١٥ ألف نسمة من منطقة يبلغ نصف قطرها ٣٠ كم حول المفاعل كذلك تم تهجير عشرات الآلاف من قطعان الماشية وتم حظر استهلاك الالبان والاغذية المنتجة محلياً وتم توزيع اقراص يوديد البوتاسيوم على ٥,٤ مليون نسمة حول منطقة الحادثة في روسيا وذلك للحماية من امتصاص اليود-١٣١ المشع ، وقد أدت هذه الاجراءات المضادة طبقاً للتقارير إلى خفض الجرعات الناتجة عن السيزيوم-١٣٧ بمقدار يتراوح بين ٢٠ - ٨٠ % داخل روسيا وبين ٣٠ - ٥٠ % في النمسا وألمانيا والنرويج.

لقد اطلق الحادث كميات ضخمة من اليود المشع القصير العمر فوق الاف الكيلومترات المربعة وقد تركز اليود المشع فيما بعد في الغدد الدرقية لكثير من الاشخاص بالدرجة الاولي نتيجة لمسار العشب-فالبقر-فالحليب-فالانسان عبر الجهاز الهضمي وحدثت زيادة كبيرة في سرطانات الدرقية بين الاطفال والمراهقين في زمن الحادث وصلت الي ٤٠٠٠ حالة سرطان درقي متعلقة بالاشعاع ابتداء من عام ٢٠٠٠ ومن المحتمل ان يحدث اكثر من ذلك في المستقبل علما بأن معدل الاثار البعيدة المدي لسرطان الدرق يكون عادة في حدود ٩٠-٩٥% ، ولم تكتشف بين من كانو بالغين ابان الحادث اية زيادة اكيدة في سرطان الدرق المتعلق بالاشعاع.

ومن خبرات المائة سنة السابقة تبين ان هناك خطورة متزايدة للاصابة بالعديد من انماط السرطان بعد التعرض الاشعاعي حيث يمكن ان يحدث انواع من سرطان الدم (ابيضاض الدم) خلال سنتين الي ثلاثة من التعرض. وأن الخطر يمكن ان يستمر لمدة عشرون سنة وان معظم السرطانات الصلبة لا تحدث خلال عشر سنوات من التعرض ولكن الخطورة قد تدوم ثلاثة او اربعة عقود.

ولم تبين الاحصاءات والتنبؤات اية زيادة قاطعة في ابيضاض الدم (اللوكيميا) او في السرطانات الاخري (غير الدرقية) تتعلق بالاشعاع حتي هذا التاريخ بين السكان المقيمين في منطقة تشرنوبيل مع ان زيادة صغيرة قد وجدت في دراسة محدودة لعمال الاخلاء الروس . هذا ولن يعرف أبدا العدد الدقيق للاصابات السرطانية بسبب الاشعاع في حادث تشرنوبيل لصعوبة تمييز السرطانات الناتجة عن اسباب اخري ويمكن تقدير العدد المحتمل للسرطانات نظريا بضرب عدد سكان تشرنوبيل في الجرعة الاشعاعية في عامل الخطورة (محسوب من دراسات علي الناجين اليابانيين من القنبلة الذرية). ثمة تخمين معقول يقدر وجود حوالي

٤٠٠٠ حالة سرطان محرضة باشعاع مميت خلال حياة الستمائة الف فرد الذين كانوا اعلي الافراد تعرضا للاشعاع ، وربما وجد كذلك خمسة الاف اخرون بين الاكثر بعدا عن مركز الحادث. ويعد هذا الرقم صغيرا (اي يمثل نسبة مئوية منخفضة) بالنسبة للخطورة التلقائية النظامية للسرطان. والنتائج الحالية تنسجم مع تقديرات الخطورة المستقاة من اليابان وتدحض بوضوح ادعاءات موت مئات الالوف التي اطلقتها بعض المجموعات المناهضة للطاقة النووية. هل انتهت قصة تشرنوبيل بعد ٢٠ سنة؟ الاجابة "لا" اذ من المحتمل ان تستمر تبعات التركة لعدة عقود أخري.

وبغض النظر عن مصدر الاشعاع فان الرقابة الفعالة علي التعرض الشعبي والبيئي تستدعي تأسيس اطار قانوني وبنية تحتية تنظيمية من شأنها تحديد سياسات تنفيذية فيما يخص الرقابة التنظيمية ورقابة الانبعاث وادارة النفايات ونشير الي ان الوكالة الدولية للطاقة الذرية تساعد الدول الاعضاء في وضع الاستراتيجيات الوطنية التي تعكس طبيعة النفايات المشعة وحجمها. ومن المفارقات العجيبة ان البلدان للاقل توليدا للنفايات المشعة تكون علي الاغلب هي الاضعف رقابة لانها ببساطة ماتزال غير قادرة علي تخصيص موارد كافية لقضايا ادارة النفايات المشعة. وعندما يتم تحديد موضع قد يشكل تهديدا للناس او البيئة تقدم معايير الضمان التابعة للوكالة الدولية للطاقة الذرية الارشاد المطلوب حول كيفية التعامل مع الموقف. وتتضمن الخطوة الاولي تقديرا مبدئيا يضم مسحا اساسيا ورصد اشعاعيا وتقديرا للجرعة. وتستخدم هذه المعلومات لتحديد ما اذا كان ذلك الموضع يجب اخضاعة لرقابة منتظمة وما يجب اتخاذة من اجراءات علاجية او وقائية وحسب الخطورة المقدرة يمكن ان تكون الاستجابة المناسبة اما عدم اتخاذ اي مبادرة علي الاطلاق او اتخاذ اجراءات بسيطة مثل منع الوصول الي موضع التلوث. اما الحالات الاكثر خطورة والتي يمكن ان تتطلب افعالا اكثر جدية مثل الحيلولة دون دخول الملوثات المشعة الي سلسلة الغذاء او خطط العلاج فيجب توصيف حجم المخاطر ووقع الحلول المقترحة علي الاهالي المحليين.

في الايام المبكرة للوكالة الدولية للطاقة الذرية ركز الاستعداد للطوارئ بشكل رئيسي علي المنشات الكبيرة وبخاصة محطات القدرة الكهربائية النووية. وقد جري من اجل تحسين الاستعداد تشجيع الدول الاعضاء علي وضع منظومات تصنيف للحوادث مبنية علي احوال المحطة فضلا عن اجراءات وطنية للرصد البيئي اما بالنسبة للاستجابة فقد كان التركيز علي تأسيس اجراءات لطوارئ مفاعلات البحوث بما في ذلك الحاجة الي الاتصال الفعال مع البلدان المجاورة فلدي حدوث حادث طارئ يتقاطر الي العمل عاملون مسلحون سلفا بدراية نوعية بنمط وكمية الاشعاع الذي يتصدون لة وما يجب عملة في مثل هذا الموقف.

واليوم اصبح الاستعداد للطوارئ النووية يعني الجاهزية للتجاوب مع طيف عريض من اوضاع قد تحدث في اي زمان واي مكان فالاستخدام الواسع للتقانات النووية في تطبيقات تتنوع في الصناعة والزراعة والطب مما يعني وجود كميات صغيرة من المواد المشعة في مواقع متعددة –مواقع اكثر حساسية لتأثيرات خارجية مثل الفيضانات والحريق والحوادث الناجمة عن خطاء بشري وفي السنوات الحالية يوجد قلق متزايد حول طوارئ تنشاء من استخدام حقود لمواد مشعة او ما يسمي القنابل القذرة (استخدمت اسرائيل قنابل تحتوي علي يورانيوم مخصب في دك الاحياء السكنية في بيروت عام ٢٠٠٦).

وتبين الخبرة ان الطوارئ الاشعاعية وحتي الصغري نسبيا منها يمكن ان تكون ذات اثار اقتصادية ونفسية وخيمة سواء علي المستوي الوطني او علي المستوي الدولي ويمكن ان تفيد خطة استعداد وطنية ينفذها منسق وطني ماهر في ضمان التعامل مع كل المواقف بطريقة منسجمة. واذا ما حدث طارئ في موقع معلوم فان قائمة جرد المنسق الوطني

للمصادر المشعة تستطيع تقديم معلومات فورية عن المادة المشعة المتورطة وعن كيفية التعامل معها بسرعة وفاعلية. اذ ان الخطة الوطنية النموذجية يجب ان تحتوي علي الاشخاص المسؤلين عن تنفيذ المهام حسب الاولويات وتحدد مسؤلية كل جهة او شخص وتصف ما يجب ان يعرفة كل واحد منهم كما تضع قائمة بأمكنة العثور علي المصادر الاضافية.

ومن كل ما سبق يتضح لنا أنه سواءً كانت البلاد من الدول المتقدمة نووياً أو من الدول غير النووية فإنه حتماً يجب أن يكون هناك نظام ومعايير لحماية الدولة من التلوث بالاشعاع والاضرار الناجمة عنه سواء على المستوى المحلي أو الاقليمي أو الدولي لأن الحوادث النووية لا تعرف الحدود ويكون لها تأثير واسع على مستوى الأرض ككل وتعاني منه قطاعات كبيرة يصعب التنبؤ مستقبلاً بكميته أو نوعيته ، وبالتالي يقع على عاتق حكومة اية دولة واجب اساسي هو اقامة جهاز للتنظيم والامان النووي وكذلك اصدار التشريعات اللازمة لمثل هذا الامان النووي بهدف :

أ. تحديد قاعدة تشريعية لإقامة وعمل الأجهزة المسئولة عن الأمان النووى.

ب.وضع الأسس القانونية والتنظيمية التي تضمن عدم تعريض الجماهير والعاملين في مواقع نووية لأية اخطار اشعاعية مع الاهتمام الكافي بحماية البيئة.

ويتولي الجهاز المسئول عن الأمان النووي مسئوليات عديدة منها :

١ - ضمان حماية البيئة من التلوث بالمواد المشعة. وفي الايام الاولي للعلوم النووية لم تكن هذه الحقيقة مفهمومة جيدا وفي الفترة من ١٩٤٥- ١٩٨٠ اطلقت الاختبارات النووية الجوية اكبر انبعاثات جامحة من النويدات المشعة وكان يعتقد بأن اجراء مثل هذة الاختبارات في المناطق النائية يعد تحوطا كافيا. لكن بعد ستين عاما من ذلك ما تزال نوجد كمبات متبقية من النويدات المشعة المعمرة في البيئة وما تزال تشكل مصدرا عالميا للتعرض للاشعاعي بالرغم من انها لا تسهم الا قليلا في التعرض السنوي لسكان العالم. وظهر جليا الحاجة الحيوية الي عقلية امان نووي بعيدة المدي وكبيرة المقياس والي اجراءات سلامة خاصة بالمصدر.

تلازم التدفقات المشعة علي الاغلب محطات القدرة النووية والمرافق النووية التي تطلق مواد مشعة عبر مداخن المكامن ومنافذ التفريغ ومواسير التصريف . وهناك قطاعات اخري مثل الصناعة والزراعة والبحوث العلمية تسهم بهذه التدفقات بدرجة اقل وفي جميع الحالات يجب علي المشغلين قبل حصولهم علي تراخيص التقانات المبنية علي الاشعاع ان يبرهنو علي قدرتهم علي التحكم بالانبعاثات ومسايرة امعايير الدولية التي تعد دون المستوي الذي تستبين عندة اصغر التأثيرات علي السكان او البئة . وبشكل موجز، باستثناء حالات الحوادث الطارئة تضمن اللوائح الا يسبب الاطلاق الاجمالي لجميع النظائر التي تنتجها الصناعة عموما الا مستويات تافهة من التعرض.

٢ - تداول النفايات المشعة والتخلص الآمن منها بما يضمن امان وسائل معالجة النفايات المشعة وتخزينها ونقلها والتخلص منها. ومن البديهي ان جميع البلدان تنتج نفايات مشعة عبر برامجها النووية السلمية او الدفاعية او الطبية والصناعية و ايضا في البحوث العلمية. ويجب ادارة هذه النفايات بشكل مناسب الامر الذي يعني ضمنا اجرءات صارمة للمعالجة والتخزين والتصريف النهائي بغية ضمان عزل هذه النفايات عن المحيط الحيوي طيلة الزمن اللازم لاضمحلال نشاطها الاشعاعي الي مستويات تافهة.

٣ - ضمان تطبيق التشريعات القومية والمواثيق والاتفاقيات الدولية التي تكون الدولة طرفاً فيها .

وفي سبيل تحقيق المبادىء اللازمة للامان النووي لابد من الاهتمام بما يلي :

• القيام بأعمال المسح الاشعاعي داخل وخارج مواقع المحطة النووية أو الانشطة الاشعاعية ، وينبغي القول أن المسح الاشعاعي للخلفية الطبيعية في غاية الاهمية ولا يعد ترفاً كما يظن بعض المسئولين في البلاد النامية ، فلولا توفر بيانات كافية عن الخلفية الاشعاعية في السويد مثلا أمكن للمسئولين هناك اكتشاف زيادة الخلفية الاشعاعية عن المستوى الطبيعي وبدء البحث عن السبب حتى تكشف الستار عن حادثة تشرنوبيل والتي أخفت روسيا حدوثه لفترة حتى كشف العلماء وجود سحابة ذرية فوق غرب أوروبا ، وهذا المثال يوضح إلى أي مدى تعتبر عملية المسح الاشعاعي ذات اهمية عظيمة .

• القيام بأعمال الرقابة اللازمة ومراجعة وتقويم المعلومات الضرورية لتحقيق هذا الأمان. ويشكل الرصد المنتظم عند مصدر الاطلاق وفي البيئة المتلقية للانبعاثات– عنصرا اساسيا لمراقبة التعرض الشعبي والبيئي ويجري تطبيقة بغية كبح انطلاق النويدات المشعة من مصادر نوعية مثل المفاعلات النووية والمنشآت الصناعية او البحثية ومكامن خزن النفايات ومناجم اليورانيوم ومخلفات الطحن وكذلك لتحديد الاراضي (او احد مكونات البيئة الاخري) المتأثرة بالبقايا المشعة . ويوفر الرصد البيانات المطلوبة لاجراء تقدير تقني ولتنفيذ استجابة مناسبة مبنية بدورها علي مستوي الخطورة الاشعاعية المحتملة. واذا لم يكن هناك اي مصدر معروف للاشعاع داخل بلد معين بل توجد خطورة محددة من بلد مجاور فيمكن اكتشافة مبكرا وعمل اللازم.

• التحقق من وجود القدرات اللازمة للتصرف السريع في حالات الطوارىء .

• التحقق من اتخاذ الاجراءات التصحيحية في حالة مخالفة القواعد أو النظم المتبعة.

• التحقق من اتخاذ الاجراءات والاحتياطات اللازمة في حالة اكتشاف ظروف تهدد أمان المنشآت النووية.

• التحقق من وجود سجلات ملائمة محفوظة فيما يتصل بتعرض الافراد للاشعاع وتسرب المواد المشعة وتداول النفايات المشعة.

• القيام باختبارات وقياسات مراقبة الجودة.

• القيام ببحوث متصلة بتنمية القوى النووية وتنظيمها.

• تقديم خدمات قياس الجرعات الاشعاعية للعاملين في المجال النووي وخدمات الفحوص الطبية.

ويجب أن تتوفر الشروط الضامنة لإستقلال هذه الجهة الرقابية عن الجهات المستخدمة لمصادر الاشعاعات المؤينة ، ولا يفوتنا أن ننوه عن ضرورة تخصيص عدد من محطات كشف التلوث الاشعاعي لرصد أي تسرب يحدث فور وقوعه والعناية التامة برفع كفاءة الأفراد العاملين في المجالات النووية وخاصة في مجال الأمن الصناعى ، كما يجب وضع خطة للانذار الفورى والتدرب على كيفية الابلاغ النووي الفوري في حالة حدوث أي تسرب نووي لتنفيذ العمليات الوقائية مع توعية الجماهيربالاجراءات الواجب اتباعها ، وبالطبع لا بد من تدريب قوات الدفاع المدني على استخدام مهمات الكشف والوقاية من الاشعاعات وكيفية التصرف بالتنسيق مع القوات المسلحة.

وأخيراً إذا كان حادث تشرنوبيل قد نجم عن أخطاء بشرية جسيمة وعن عيوب فنية عديدة ولكن رب ضارة نافعة ، فلقد أثار هذا الحادث إهتمام المجتمع الدولى البالغ ، وعقدت الإجتماعات المتصلة لبحث الموضوع من كافة جوانبه ووضعت توصيات قيمة في مجالات الامان النووي وتصميم المفاعلات وطرق تشغيلها والوسائل الحديثة لإطفاء الحرائق

، ثم وضعت اتفاقيتان دوليتان للمساعدة الدولية الاولى للانذار المبكر بـــأي حـــادث نـــووي والثانية اتفاقية للمساعدة الدولية في حالات الحوادث النووية والطوارىء الاشعاعية.

إن كان لنا أن نتخوف بعض الشيء من حادث تشرنوبيل فإنه لا يجـــب أن يؤخرنـــا عن اللحاق بالمسيرة النووية والتقنيات العالية الملحقة بها فهي مصدر طاقة هام لأغـــراض التنمية الاجتماعية والاقتصادية وجوب التأكد من تحقيق أعلى مستوى للأمان النووى.

مستقبل الطاقه النوويه

اقتصاديات الطاقة النووية

اتفق الكثيرون علي تعريف الاقتصاد بأنه دراسة الكيفية التي يختار بها الناس والمجتمع اسلوب استغلال مصادر الثروة الشحيحة ذات الاهمية المتنوعة لانتاج السلع المختلفة وتوزيعها للاستهلاك الان وفي المستقبل وبين الافراد والجماعات المتعددة في المجتمع ,

يعتقد في الولايات المتحدة الامريكية أن الطاقة الحرارية المولدة من الوقود النووي تبلغ فقط ١٤٪ من مجمل الناتج القومي من الكهرباء ، ومما لاشك فيه أن اهتمام الفرد العادي في النهاية يقتصر علي تكلفة وحدة الكهرباء التي يستهلكها ، وهي تقترب من ٨ سنت لكل كيلووات ساعة بأستخدام المفاعلات النووية المولدة للطاقة "حرارية ، وتشتمل تلك التكلفة علي المكونات التقليدية الثلاثة : التوليد (٥٥٪) والنقل (٣٢٪) والادارة (١٣٪) ، وعلي ذلك فان التوليد وحدة يتكلف نحو ٤ سنت لكل كيلووات ساعة ، وبشكل عام تتأثر هذه القيمه بعدة عوامل منها : المقارنة فيما اذا كان المصدر الطاقي قوة مائية أو بترول أو فحم أو قوة نووية وايضا الموقع الجغرافي للمفاعل بالنسبة لموقع مصادر الفحم ثم بالطبع تكلفه المفاعل ، ولقد كانت تكلفة الكيلووات ساعة من المصادر البترولية في نهاية الثمانينات حوالي ٧ر٤ سنت ومن الفحم ٣ر٤ سنت ومن الطاقة النووية ١ر٤ سنت بينما تراجعت فرص الاستفادة من الطاقة المائية لضئالتها . ويلاحظ ان سعر الوحده المولده من البترول يعبر عن ارتفاع سعره فى ذلك الوقت ، كما ان الاختلاف فى تكلفه سعر الوحده المولده من الفحم ومن المصادر النوويه يعود ابتداء الى ارتفاع قيمه راس المال المطلوب ثمنا للمحطات النوويه الاحدث ، ومن الطبيعى ان تكون تكلفه تشغيل المحطات النوويه مرتفعه نظرا لاشتمالها على تكلفه اجراء الصيانات اللازمه والتى تتاثر بدرجه التعقيد العاليه التى تتميزبها تلك المحطات ، اضافه الى ذلك يؤثر الوقف الشامل للمحطه من اجل اجراء

الاصلاحات الضروريه لنظم التبريد ومولدات البخار على تلك التكلفه جزئيا ، ولا يفوتنا هنا التنويه عن دور التضخم فى رفع قيمه راس المال اللازم لانشاء محطات التوليد بالفحم والوقود النووى والذى كان له تاثيره الواضح فى الانصراف عن انشاء محطات جديده وتحمل نسب فائده عاليه ، اذا ان المحطات النوويه بشكل خاص تتطلب زمنا طويلا لاستكمال انشاءاتها .

واذ نجد اختلافا واسعا فى قيمة راس المال اللازم لانشاء المحطات النوويه الا انه ممكن حساب المتوسط بما يزيد عن ٢ مليون دولار امريكى ، ويعبر هذا الرقم عن القيمه الفعليه مضافا اليها الفوائد ، ولطالما كانت النظره الى القدره النوويه على انها هائله التكلفه لان تكلفه معداتها عاليه مقارنه بتكلفه البترول ، اذ يتكلف المفاعل ونظام البخار ٥٠٪ والمولد التوربينى ٣٠٪ وميزانيه التشغيل ٢٠٪ ، وهناك تكاليف اخرى اضافيه تتمثل فى قيمه الارض المقامه عليها المحطه النوويه والاحتياجات التنمويه للموقع والاجراءات الاداريه والفوائد ...الخ

وتعتبر القيمه المدفوعه لخدمه فوائد قروض الانشاء مؤثره للغايه فى الحسابات الكليه ذلك لان متوسط الزمن اللازم لوضع المحطة تحت التشغيل يبلغ حاليا ١٠ عام في الولايات المتحدة الامريكية بعد أن كان ٦ اعوام فقط عام ١٩٧٢ ، ويرجع ذلك الي اسباب متعددة من بينها ظهور تشريعات جديدة من وقت لاخر تعرقل انسياب العمل وتفرض تعديلات مؤثرة ، كما تساهم المعوقات التي تمارسها جماعات الضغط المناوئه للطاقة النووية في تأخير الحصول علي التصاريح اللازمة للانشاء ، ولا يستثني من أسباب المط الزمني غياب الادارة الفاعلة .

يتسم الطلب علي الطاقة الكهربائية بالتفاعل خلال ساعات اليوم كنتيجة لاختلاف انشطة البشر وتنوع الاعمال وحركة الصناعة خلالها ، بل انها تتعاون ايضا مع اختلاف مواسم العام مظهره ذروة الاستهلاك حين يكون الطلب علي التدفئة وعلي تكييف الهواء علي أشده ، ويصعب ذلك من مسئولية الهيئات القائمة علي امدادات الكهرباء ، اذ يقتضي الامر توفر حوالي ٢٠ ٪ من الطاقة اللازمة

كأحتياطي للتعامل مع اوقات الذروة في الاستهلاك ، ومما لا شك فيه ان حالة الاقتصاد الوطني ومعدلات النمو الصناعي تتحكم في الاتجاهات بعيدة المدي للطلب علي الكهرباء ، وعلي ذلك فانه يجب أن تتابع هيئات الامداد دراساتها التنبؤية لمتابعة الحاجات المتزايدة وانشاء المحطات النووية الجديدة واجراء عمليات الاحلال اللازمة لوحدات المحطات القديمة ، ومما يؤسف له أن محاولات التنبؤ بأحتياجات المستقبل كثيرا ما جاءت مخيبة للامال ، فاذا ما جاءت التقديرات خفيضة والمحطات غير جاهزة عند الحاجة اليها فان المحتاجين الي الطاقة سيعانون من نقص الامدادات ، واذا كانت التقديرات أعلي مما يجب وبنيت من اجلها سعة زائدة فانه لا مهرب من أن يتحمل العملاء التكلفة الاضافية وفي الولايات المتحدة الامريكية سلمت الهيئات المسئولة عن امدادات الكهرباء بفداحة الاعتماد علي انشاء محطات نووية جديدة بالرغم من أن مؤشرات التسعينيات تشير الي زيادة علي طلب الطاقة تتراوح بين ٣٪ و ٤٪ ، ويعود ذلك الي تجاربها المريره في زمن الانجاز الذي اطال فترة الانشاء ٦ شهور للمحطة الاحدث عن المحطة الاسبق مما ضاعف من التكلفة وفوائد القروض ، وهم في ذلك في موقف لايحسدون عليه لانهم اذا ما قرروا المضي في انشاء المحطات الجديدة اتهموا بالتبذير واذا ما قصروا في ذلك وجه اليهم النقد الحاد لتقاعسهم عن مواجهة احتياجات عملاءهم .

المقتضيات الفنية والتشريعية للتطوير :

لقد فرضت أزمة الصناعة النووية نفسها علي الباحثين والدارسين أملا في ايجاد حلول ناجحة لمشكلاتها تبني علي ما تحقق من نجاحات وتقدم تقني ، وسوف نورد فيمايلي ايجازا حول بعض الافكار التي تلقي اقبالا عاما.

١ ـ اطالة عمر المفاعل :

يقدر عمر المفاعل بأنه الزمن بين بدء تشغيله والتوقيت الذي يلزم عنده وقفه نهائيا ، ومن المتعارف عليه أن عمر المفاعل يبلغ ثلاثين عاما ، ويعتقد أن الامرين الفاعلين في سرعة انهاء عمر المفاعل هما ضعف الامان الذي يسئ الي التجهيزات الحيوية وتباعد مواعيد الصيانة والاصلاح التي تسئ الي الوضع الاقتصادي له .

وعلي ضوء تكلفة رأس المال العالية اللازمة لاحلال المفاعلات فان جهودا كبيرة تبذل من أجل اطالة عمر المفاعلات الي اكثر من ٤٠ عام ، ويقتضي ذلك السعي "ي معالجة عدة مشكلات منها :
صعوبة ايجاد قطع الغيار الضرورية لاستبدال مكونات أو لاستكمال نظم ، التآكل الحادث في مولدات البخار في مفاعلات الماء المضغوط بسبب وجود النحاس في نظامها ، تدهور النظم الكهربائية الناجم عن تقادم عمر الكابلات وبخاصة في البيئات الحاره الرطبة , تراكم المواد المشعة الذي يصعب مهام الصيانة بمستوياته الاشعاعية الضارة ، التآكل الحادث في شبكة الأنابيب الأولية في مفاعلات الماء المغلي ، التأثير الاشعاعي علي لحامات قلب مفاعلات الماء المضغوط بسبب امطاره بالنيوترونات السريعة مما يجعله واهنا ازاء الصدمات الحرارية الضاغطة ، اذ يؤدي التغير في درجة الحرارة الحادث في مواد جعلها التآكل هشة الي شرخ قلب المفاعل ، ونظرا لأن مثل هذا يتحتم تجنبه بأي ثمن فان هذا الفعل يحد من التشغيل المستمر للمفاعل ، ومما يؤهل حدوث تلك المتاعب استخدام وقود ضعيف التسرب عند سطح القلب ، ومثل هذا الوقود قد يكون وقود قليل الاثراء أو وقود محترق جزئيا فكلاهما ذوا معدلات انتاج نيوترون منخفضة ، ويلاحظ أن مفاعلات الماء المغلي لاتعاني من تلك المشكلة نظرا لوجود طبقة أكبر من الماء بين الوقود وجدار القلب .

ومما لاشك فيه أنه يمكن تفادي بعض المشكلات الحقيقية باتخاذ اجراءات التفتيش والصيانة الحمائية الدورية واستغلال قواعد البيانات المبرمجة في الكشف عن التطورات واتخاذ القرارات ، كما أن التحكم الدقيق في التركيب الكيميائي لماء التبريد الاولي والثانوي سيقلل من التآكل ومن تراكم الرواسب .

٢- المفاعلات القياسية الجاهزة :

تتحمل الصناعة النووية بعبء تعدد أنظمة المفاعلات فهناك نوعان من مفاعلات الماء الخفيف LWRكما يتعدد البائعون وكذلك توجد أنظمة مصنعة خصيصا لبعض العملاء ، ويساعد هذا التعدد علي تعقيد عملية الحصول علي التراخيص اللازمة وانجاز المسارات الادارية المطلوبة , علاوة علي ذلك فان القائمين علي التشغيل يجدون أنفسهم مضطرين ليس فقط لتعلم أساسيات تشغيل المفاعل ولكن أيضا خصائص المفاعلات المتفردة ، والمفاعلات علي اختلافها اجتمعت علي ارتفاع قيمة وسعر تكلفة الانشاء وحيث ان الحال هكذا فلقد قدمت اقتراحات لحل هذه المشكلة ، ومن بين الحلول المطروحة التقدم نحو وضع تصميمات قياسية للمفاعلات بحيث يمكن بناء نظمها في مصنع مركزي للاستفادة من ميزة الانتاج الكبير بمايشتمله من الانتاجية العالية للمعامل والمراقبة عن قرب وكفاءة ضبط الجودة ، والي جانب ذلك ستتوفر آلية التصنيع وطرق الفحص ، وعلي ذلك فان نظام تجميع الوحدات سابقة التصنيع في موقع المحطة يمكن انجازه بسرعة وبسهولة ، وفي هذه الحالة سيكون من المتاح الحصول علي التراخيص اللازمة للتصميم علي أسس عامة وليس خاصه منفردة .

٣ - المفاعلات الصغيرة :

في المناطق التي تشهد طلبا محدودا للطاقة الكهربائية يصبح انشاء محطة نووية بقوة قد تزيد عن ١٠٠٠ ميجاوات أمرا غير عملي ، وقد اقترحت حلول لمواجهة الطلب المحدود في المستقبل في مثل تلك المناطق وأهمها خفض قدرة

المحطـة الـي حوالـي ٤٠٠ ميجاوات ، ويمكـن توقـع سـرعة انشـاء مثـل هـذه المفاعلات نظرا لمحدوديتها ، واذا كانت اقتصاديات المحطات الكبري سـتزول فـي هذه الحالة الا أن التكلفة العالية لتجهيزات المحطة الصغيره يمكن أن تتـوازن مـع الخفض الموازي في رأس المال المطلوب ، والدراسات تثبت أن هذا هـو الاختيـار الامثل لهيئات امداد الطاقة التي تعتمد جزئيا علي وحدات التوليد بحرق الوقود .

ان اعاده تصميم مفاعلات الماء الخفيـف LWR بحيث تصبـح فـى احجـام صغيره سيمكن من تحسين أسباب الأمان ، ويمكـن أيضـا توفير دوره تـبريد أوليـه طبيعيه اكبر مما سيؤدى الى خفض طاقه الضخ ، الا أن الأهم من ذلك هـو خفض فرص الاضرار بقلب المفاعل بسبب المـبرد ، ومـن ناحيـه اخـرى فـان المفـاعلات الصغيره لابد وأن تجتذب الدول الناميه ذات القدرات المحدوده ، وقد اكـدت دراسـه وضعتها الوكاله الدوليه للطاقه الذريه عام ١٩٩٠ أنه من بين ١٠٤ دوله عضو بها هناك ٥٠ دوله يمكن أن تقبل وحدات تعطى اقل من ٢٠٠ ميجاوات واخرى عددها ١٣ دوله يمكنها قبول وحدات قدرتها فى نطاق ٢٠٠ الى ٦٠٠ ميجاوات .

٤ - دور الحاسوب .

مما لا شك فيه أن أمان وانتاجية المفاعلات النووية العاملة يمكـن أن تشـهد تطـورا كبيرا بالتوسـع فـى اسـتخدام الحواسـب الآليـة ، وتعطـى الحواسـب الآن معلومات عن صحة المفاعل كما تسجل اوضاع الصيانه الدورية ومـن المؤمـل فيـه التوسع فى استخدام الذكاء الصناعى الذى يقوم فيه الحاسوب بمحكاه أسـاليب الفكـر البشرى واتخاذ القرار ، وتتجه البحوث فى هذا الشأن فى أربعه اتجاهات :

ا - اداره قواعد بيانات ضخمة .
ب - نماذج التعرف والفعل الكهروميكانيكى .
ج - استخدام اللغة الطبيعية كامكان التحدث مع الحاسوب بالانجليزية مثلا.
د - النظم الخبيرة .

وهـى تجتمـع لتصنـع تكـاملا مـن المعرفـة البشـرية والقـدرة علـى حـل المشكلات.

وتهتم البحوث بصفه خاصه بتطوير النظم الخبيرة ، اذ يفترض أن نظام الخبرة المثالى يستطيع امتصاص البيانات الخاصة بمشكلة ما من مشكلات التشـغيل ويقيس على قواعد المعلومات المختزنة ويجرى العمليات علـى المعلومـات المتاحـة لحظيا أو المفترضة ، ويمكنه تطبيق القدرات التحليليـة المختزنـة والخبرة العمليـة لعديد من المتخصصين بغرض اعطاء التوصيات المناسبة للفعل الوافى أو المصحح ، وعادة ما تكون تلك الخبرة مصنوعة من مئـات القواعد المؤسسـة علـى الحقـائق والبديهيات ، ويفترض أن النظام الخبير يمكنه أيضا شرح المنطق الذى اتبعه لبلوغ الاجابة المطلوبة كما يمكنه أيضا ان ينمى من معرفته ومستواه التنافسي .

وتدل الدراسات على ان الاستخدامات المنتقاه للنظم الخبيره ستتركز علـى تنظيم عملية التزود بالوقود عند اعـادة الامـداد بـه وكذلـك فـى تقديـر تدهـور حالـة المحطة على امتداد عمرها وايضا فى فحص ملابسات الحوادث ، ولاجـدال فـى أن قدرات المشغل علـى التعـامل مـع حـالات الطـوارىء ستزداد بشـدة باتاحـة النظـام الخبير ، الا أنه على الجانب الآخر قد يتسبب الـدور المسـاعد للحواسـب فـى اثـارة القلق من أنه ربما سيثبط من حماس المشغلين فى استخدام قدراتهم العقلية ، ويعتقـد أن النمو الطبيعى للنظام الخبير فى المستقبل سيشتمل على اجـراء الحسـابات الآليـة للتجاوبات المتوقعة للنظام كخطوة أبعد من الـذى تقدمـه حاليـا محاكيـات التدريـب ، وفىالنهاية سيكون هناك تحكم آلى للمحطة بأكملها ، ومـع ذلـك فـان الشـعور العـام يؤكد ان وجودا ما للانسان يظل ضروريا بغض النظر عن مستوى التقدم والتطوير الذى ستبلغه الحواسب الآلية .

٥ - تعديل الترخيص النووى :

يعتقد أن هناك تأخيرا غير ضرورى فى عمليات انشاء المحطات النووية يرجع الى عملية الترخيص ، وقد سجل أن عددا من المحطات شبه المنتهيه قد أوقف العمل فيها لأنه لم يكن لديها التأكيد على السماح لها بالعمل ولقد بذلت الجهود لتعديل قواعد الترخيص والاداريات المتعلقة بها ومن معالم تلك الاصلاحات مايلى :

ا - الموافقة على التصميم القياسى للمحطة النووية :

فبالاتفاق على تصميم قياسى لن يكون من اللازم اعاده النظر فى عناصر الأمان لأنها لابد بالفعل قد درست وفحصت عند اعداد التصميم القياسى، وسيترتب على هذا توفير الكثير من الجهد والزمن ، وستصبح مهمه رفع مستوى الأمان قاصرة على نظم أقل انتشارا .

ب - الموافقة المبكرة على موقع الانشاء :

ان الموافقة المبكرة على المواقع التى يمكن اتخاذها سيرفع العبء عن هيئات امداد الطاقة اذ أنها ستلجأ مباشرة اليها دون الحاجة الى السعى للحصول على اذن بالبناء .

ج - الربط بين البناء والترخيص الخاص بالتشغيل :

مثل هذا الربط سيوفر الكثير من الزمن لأنه سيتعامل مبكرا مع كل العقبات المتوقعه بما فيها المنظمات والجمعيات المناهضة ، كما أن عمليات الاختبار والتحاليل وشروط الموافقة ستكون ممكنه وتتمتع بظروف انجاز زمنية مناسبة .

د - محدودية الالحاقات على المحطات النوويه :

والمقصود بالالحاقات ما يلزم من اضافات أو استبعادات أو تعديلات على هندسة الانشاء أو التشغيل بعد الحصول على الترخيص ، وعلى ذلك فان فرض تلك المحدوديه فى التغيير ستوفرأيضا الكثير ولا تترك سوى هامش يقتصر ربما على اسس العلاقة بين التكلفة والاستفادة فقط .

مستقبل الطاقه النووية

ونحن نخوض فىهذا الموضوع تتهافت علامات الاستفهام من حولنا باحثة عن اجابات شافية شاملة ، فمنها ما يتساءل عن دور الطاقة النووية فى المستقبل البعيد مقارنة بمصادر الطاقة الأخري حينذاك ، ومنها مايتساءل عن انتشار مصادرها وامتدادها فى المستقبل فى ارجاء العالم ، ومنها ما يتساءل عن مصدر الطاقه الذى سيلجأ اليه الانسان فى النهاية عندما تنضب المصادر التقليدية للوقود ، ومثلما تعددت الاسئلة تباينت الاجابات لانها فى مجملها تحدث تضارب وهى فى ذلك ترجع الى بدايات شتى بين التنبؤ والاعتقاد والمثالية والبداهه كما انها لا تغفل ايضا الاساليب التحليلية ، كما نلحظ هنا التعارض الحاد بين الاستنتاجات الدائرة حول تطلعات سياسات الطاقة الوطنية والدولية اعتمادا على رؤية الاطراف للعوامل البيئية وتأثرها بالقدرة النووية ، فمن الواضح ان التحليلات التى تأخذ فى اعتبارها الفروق بين الدول من النواحى الاقتصادية والشكلية فى حين تغفل مبادئها الاجتماعية انما هى فى حقيقة الامر عديمه الجدوى ، ومن ناحية اخرى فانه يجدر بنا الا نرتكن الى الرؤى المستقبلية التى تفترض الحساب الزمنى فقط ، فمثال ذلك ماقدرته التقارير الموضوعة عام ١٩٦٢ لحجم الطاقة النووية المتاحة عام ١٩٨٥ وهو ٧٣٤ جيجاوات فى حين ان ماتم تسجيله فعلا لايزيد على حوالى ١٢٠ جيجاوات .

يتطلع الانسان دوما الى تأمين مصادر الطاقة اللازمه لحياته واحتياجاته وممالاشك فيه ان استغلال الطاقه على مدى الازمان وحتى اليوم قد تغير بشكل واضح ، فلقد لجأ الانسان الى حرق الخشب ليطهى طعامه ويحفظه ساخنا ، وعلى امتداد الاف السنين لم يكن له من بديل سوى قدراته وقدرات حيواناته العضليه والرياح ليجر بقوتها ولطواحين الهواء وقوة دفع المياه ، ثم اتت الثوره الصناعيه فى القرن التاسع عشر لتضيف اليه استغلال الفحم فى دفع القطارات ، وكانت

الطاقه الكهربائية المنتجة من المحطات المائيـة ومحطـات حـرق الفحـم هـى ابتكـار نهايات القرن التاسع عشر ، واصبح النفط والغاز الطبيعى مصـادر رئيسـية للطاقـة فى القرن الحالى فقط ، ولم تتح الطاقة النووية الا منذ نحو اربعين عاما فقط .

وتشير الدراسات الى ان مساهمة الطاقة النووية فى الاستهلاك العالمى مـن الطاقة لا يزال محدودا للغاية اذ يعتقد انه لا يصل الى ٤٪ ، ويلاحـظ ان اسـتهلاك الفرد من الطاقة بما فى ذلك نصيبه من استهلاك الصناعـة منهـا يختلـف بـاختلاف المنطقة الجغرافية فى العالم ، كمـا يلاحـظ ان اسـتهلاك الطاقـة يتـوازى مـع النـاتج القومى ومستوى المعيشه ، ولقد قيـل دائمـا ان الفجـوة بيـن مسـتويات المعيشـة فـى الدول الغنية والدول الفقيره تزداد اتساعا مما يجعل من الصعـب متابعـة اى تحسـن يطرأ ، ويزيد الامر سوءا ان الانفجار السكانى يجتاح المناطق التــى تسـجل خفـض معدلات استهلاك للطاقة بالنسبه للفرد .

وعلـى الرغـم مـن ان هنـاك اتفاقـا عامـا علـى ان المسـاعدة الاقتصاديـة ضرورية للدول النامية الا ان النجـاح فـى تحقيـق تحسـن فـى أحوالهـا يعتمـد علـى الوسائل التى يجرى من خلالها تقديم تلك المساعدة ، ويطرأ هنا التساؤل الشهير .. هل من الاجدى مساعدة الدول النامية على تحسين الخطـة الاقتصاديـة والاجتماعيـة والتى تتضمن اداره الطاقـة ام تقديـم النصـح لهـا فـى الكيفيـه التـى يجـب عليهـا ان تتعامل بها مع الطاقة فى نطاق خططها الموضوعه ؟

ومن المعروف انه يمكن تقديم التقنيات بوسيلتين .. الاولى بـالمد بـالاجهزة المناسبه للحاجات الملحة للدول المستقبلة لها والتى تتناسـب مـع المؤهـلات المتاحـة للتشغيل والصيانة .. او بالمد بالتجهيزات والتدريب والاشراف على تقنيات متقدمـة يمكنها تأهيل الدول المستقبلة لهـا الـى مسـتوى صنـاعى سـريع ، وكلتـا الوسـيلتين تتعرضـان للنقد بيـن القبـول والرفـض ، وربمـا امكـن اتبـاع كليهمـا لاحداث افـاده سريعه وتقريب امال الدول فى الشعور بالاستقلال .

وحيث ان العديد من الدول النامية تعيش فى مناطق مدارية او بور لذا يبدو منطقيا التأكيد على الطاقات المتجددة ، ومع ذلك تتبدى بعض المصاعب ، وللأسف فان تلك الدول تعتمد على مصادر الطاقة التقليدية اعتمادا ثقيلا ، فعلى سبيل المثال نجد ان الاستغلال الجائر للاخشاب على مدى عقود قليلة قد حول الغابات الى صحارى ، ويعتقد البعض ان المساعده على استعادة تلك الغابات لابد وان تكون ذات اولوية ، وقد نجد ان التركيب الاجتماعى لبعض الدول يحول دون التوسع فى انتاج الغاز الحيوى من النفايات ، فى حين ان المواد المجانية لدى الشعوب الفقيرة قد تصبح ذات قيمه ، وقد فشلت وحدات الطهى العاملة بالطاقة الشمسية والشديده التعقيد فى اجتذاب المستفيدين منها وسرعان ما نبذوها .

ويعتقد أنه بالنسبة للعديد من الدول فان ادخال الطاقة النووية لها يعد أمر غير مناسب نظرا لتكلفتها العالية ، ومن قريب فقط يسعي مصنعوا المحطات النووية لانتاج وحدات أصغر يمكنها أن تغطي الاحتياجات الصغيره بسعر مناسب ، ومن المعروف أن الدول المتقدمة تضع العراقيل امام نقل التقنيه النووية الي بعض الدول النامية في محاولة منها لمنع تلك الدول من حيازة مقدرات التسليح النووي ، ويلقي هذا الاسلوب من جانب الدول المتقدمة معارضة قوية من جانب الدول النامية التي ترفض استبعادها من هذه الدائرة٠

التوقعات :

ان أي تحليل للطاقة في العالم يحتاج الي عدة عناصر منها تحديد الهدف وافتراضات معينة ونموذج ومحددات ضرورية وقاعدة بيانات ومواصفات الاداء والانتاج ، وأحد أهم الافتراضات الاولية هو أن انواع الوقود التعدينية ستصبح مرتفعة الثمن بشكل حاد فالمتوقع للبترول عقود قليلة وللفحم قرن تقريبا وينفذا ، وعلي ذلك فان المستهدف هو ان الانتقال من الاعتماد الحالي علي الوقود التعديني الي اوضاع مستقرة تعتمد علي استغلال مصادر لاتنفذ ابتداء او متجددة لابد وان يكون انتقالا هادئا .

والتحدي الاول لمثل هذا التحليل هو ضـرورة توفير المستوي الاول وهو الحد الادنـي للطاقة الذي يوفر للانسان احتياجاته من الغذاء والمأوي والملبس والحماية والصحة ، والتحدي الثاني هو المستوي الثاني المأمول وهو القدر من الطاقة الواجب توفيره لمستوي معيشة عالي يتيح وسائل الانتقال والاتصال والراحة مثلما يتيح المتعـة والتسلية وفرص الابداع والثقافة ، ومن المؤكد أن المستوي الاول يجب تحقيقه كما يجب السعي لتحقيق المستوي الثاني للانسان فـي كل مكـان في هذا العالم ، ويفرض هذا الهدف التخلص من الفروق في الظروف التي تعيشها الدول المتقدمة وتلك التي تعيشها الدول النامية بكل مالدينا من قدرة علي تحقيق ذلك .

ومن الطبيعي أن يكون التحفظ في استهلاك الطاقة هو المعبر الي زيادة الامداد بها ، وتشير التجربة الي أن الوفر الكبير في الوقود الذي تحققه الدول المتقدمة قد جاء نتيجة للتغيير الذي طرأ علي شكل الحياة وتحسين التقنيات ، ومن أمثلة ذلك خفض درجة حرارة الغرف شتاء عما كان معتادا عليه والتحول الي السيارات الصغيرة القادرة علي الاستفادة الأفضل من الوقود وكذلك زيادة الاهتمام بالعزل الحراري في المباني وأيضا بالتوسع في التحكم الاليكتروني في الصناعه ، وهناك المزيد مما يمكن اتخاذه من اجراءات في هذا الشأن ، ويلزم اتباع نفس المنهج علي المدي البعيد لضمان توفير الطاقة الكافية المناسبة للاحتياجات ، وفي النهاية فان هذا المفهوم محدود التطبيق حتي الان في سلوكيات الشعوب المتخلفة ويحتاج الي الجهود المتميزة لتدعيمه .

ستظل حماية البيئة والصحة وأمن المواطنين محددات قوية تحد من انتشار التقنيات النووية ، وربما كان تلوث الهواء الناجم عن السيارات ووسائل النقل هو المشكلة الاكثر شيوعا لدي العامة في المدن ، بينما يظل انبعاث الاشعاع من محطات حرق الفحم بكميات اكبر من تلك المنبعثه من المحطات النووية عند مستوي تشغيلها العادي يلقي اهتماما أقل ، فعلي الرغم من أن حدوث انصهار في

قلب المفاعل ومايتبعه من تلوث في المحطة النووية قد يؤدي الي العديد من الاصابات الا أن احتمال مثل هذا الحادث الحاد ضئيل للغاية ، وعلي العكس فانه كثيرا ما تحدث حالات وفاة نتيجة حوادث تقع في مناجم الفحم أو في منصات استخراج البترول البحرية ، ومن الاسباب الاخري التي تقف خلف الحد من استخدام الفحم في انتاج الكهرباء ماتسببه الامطار الحمضية من أضرار بيئية علي الحياة المائية وكذلك ما يترتب علي زيادة غاز ثاني اكسيد الكربون في الجو تغير في المناخ ، ومايمكن أن نعيه في النهاية هو أنه ما من تقنيه تخلو تماما من المخاطر ، وحتي انتاج المواد الداخله في صنع مركزات الطاقة الشمسية وتركيبها لايستثني من ذلك .

ان استهلاك الطاقة الكهربانية ينمو بسرعة أكبر من معدلات استهلاك الطاقة بصورها المختلفة ويرجع ذلك الي نظافتها ، ومن التبذير استخدام الطاقة الكهربائية في توفير مستوي منخفض من الحرارة وهو مايمكن توفيره بواسطة انواع أخري من الوقود ، ومع هذا فانه من المعتقد أن استهلاك الطاقة الكهربائية سينمو بمعدلات أكبر من تلك التي نعهدها اليوم ويعزي ذلك الي الاتجاه في المستقبل الي تبني صناعة الاليات التي تحكمها الحواسب الاليكترونية في الانتاج الصناعي وغيره .

تمتص احتياجات النقل في الدول المتقدمة جزءا كبيرا من امدادات الطاقة في العالم وبشكل خاص أنواع الوقود السائل ، علاوة علي ذلك فان البترول يعد مادة بادئة لانتاج العديد من المواد المفيدة مثل البلاستيك واللدائن ، ومن أجل توفير مزيدا من الوقت للتوصل الي بدائل له فان العديد من اجراءات التحفظ في استهلاكه لابد من اتباعها ، ومن أمثلة ذلك استخدام السيارات الصغيرة وتحسين وسائل النقل العامة ، وينتظر أنه مع ندرة البترول في المستقبل سيصبح من الضروري الحصول علي الهيدروكربونات باسالة الفحم ويعني هذا أهمية الحفاظ عليه من اليوم ، وبدلا من التوسع في انتاج الكهرباء بمحطات حرق الفحم يجب بناء المفاعلات النووية ، والبلاد المفتقرة لمصادر الفحم كاليابان يتعين عليها استخدام

المفاعلات المحولة لانها الاختيار الطبيعي في الوقت الحاضر ، وفي المستقبل الابعد حين يصبح الفحم نفسه نادرا فان الوقود السائل سيأتي من الغاز الحيوي والذي سينافس انتاجه انتاج الطعام ، وسيصبح البديل الجذاب لوسائل النقل هو الحافله الكهربائية العاملة بالبطاريات التي يجري شحنها بالطاقة الكهربائية في المحطات النووية القائمة علي الانشطار او الاندماج النووي .

ليس من الغريب اعتبار أن الطاقة النووية نفسها ذات نموذج تسلسل في التطبيق ، فالمفاعلات المحولة التي تعطي طاقة حرارية نتيجة حرق اليورانيوم – ٢٣٥ قد تعد مستخدما غير كفء لليورانيوم لضرورة اثراءه كما أن الوقود المستخدم يلقي به كنفايات ، أما المفاعلات المولدة للنظائر فهي علي العكس من ذلك لديها القدرة علي استغلال معظم اليورانيوم وبالتالي تزيد الانتاج بدرجة كبيرة ، كما أن مصادر اليورانيوم المنخفضة المحتوي منه يمكن ايضا استغلالها بما في ذلك الخام المشتمل علي تركيز متدني للغاية من اليورانيوم وكذلك اليورانيوم الذائب في مياه البحار ويرجع ذلك الي امكانية الاستفادة شبه الكامله من الطاقة المحتواه ، وللحفاظ علي مصدر واسع لليورانيوم يجب تجميع نفايات الوقود في المفاعلات المحولة بدلا من التخلص الدائم بدفنها ، واذا كانت هناك معارضة تقليدية تفيد بأن اعادة الاستخدام تعد عملية غير اقتصادية فان هذا مردود عليه لأن تلك العملية ستكون مطلوبة كخطوة هامة في خطة انتشار المفاعلات المولدة للنظائر ، وعلي ذلك فان تكلفة تخزين الوقود المستخدم لابد وأن يعاد النظر فيها واضعين في الاعتبار قيمة اليورانيوم في العصر المقبل حين يصبح البترول والفحم باهظي التكاليف ، وفي النهاية فان الاندماج النووي الذي يستخدم نظيري الديوتيريوم والتريتيوم كوقود قد يكون حلا عمليا لتصبح مفاعلات الاندماج هي الوريث لمفاعلات الانشطار عندما ينقضي أصلها .

ان القيمة الكيميائية علي المدي البعيد لكل من الغاز الطبيعي والبترول والفحم تجعل من عملية حرقها بغرض تدفئة البيوت وغيرها مضيعة حقيقية لقدرها ، كما أن توليد الطاقة الكهربائية من مصادر نووية هو الافضل ، ونجد أن التسخين

بالمقاومة الكهربائية تتضمن استغلال طاقة عالية النوعية لانجاز مهمة منخفضة المستوي ويكون من الاولي نشر المضخات الحرارية التي تستخدم الكهرباء بكفاءة لاغراض التدفئة ، وكبديل لذلك ربما كان من المرغوب فيه الاستفادة من الحرارة المفقودة من محطات توليد الكهرباء النووية في تدفئة الاحياء المجاورة ، ولجعل هذا التوافق المنسجم ممكنا يلزم توفير عزل ممتاز لانابيب طويلة تمتد من المكثف الي المباني او بانشاء محطات أمنة بشكل دائم قريبة من تجمعات سكنية ضخمة .

للطاقة الشمسية دور كبير في استكمال أنواع مصادر التدفئة الاخري من مثل المصادر الكهربائية المستغلة بغرض تدفئة المنازل والمباني الاقتصادية ويتضح ذلك بشكل خاص في المناطق المشمسة ، وتعد السخانات الشمسية ومجموعات الخلايا الضوء كهربية مصادر مؤملة تكمل دور المحطات المولدة المركزية وتصنع خطا متوازيا مع النظم النووية القائمة علي مهمة الامداد خلال الليل ، كما أنه يمكن التعويض الجزئي عن التفاوت في قدرات الأجهزة الشمسية وذلك بأستخدام نظم التخزين الحراري والغاز المضغوط وتخزين الماء المضغوط ومولدات الطاقة بالرياح .

وكما تقدم فان الشكل النهائي الذي يحقق طموحات العالم يتمثل في نظم تخلط بين الطاقة الشمسية والطاقة النووية وتعتمد علي معالم الطقس والظروف المحيطة ، فالمفاعلات المولدة للنظائر ومفاعلات الاندماج النووي ستتركز بالقرب من المراكز الصناعية في حين تتوزع الوحدات الشمسية الاصغر في المناطق المحيطة بها ، وينتظر أن تكون الطاقة الشمسية هي الانسب للاستغلال في ضخ الماء وتحلية مياه البحر بغرض استصلاح المناطق الصحراوية في العالم ، كما أن مصادر الطاقة الاخري مثل المولدات المائية للطاقة الكهربائية وطاقة الينابيع الحرارية وطاقة الرياح سوف يمكن أيضا الاستفادة منها حين تواجدها .

ويمكن مما سبق استنتاج أنه لامناص من استغلال أي مصدر للطاقة بحيث يدخل عائدة في المنظومة الشاملة للطاقة ، ولاشك في أن تنوع المصادر يقلل من

مخاطر توقف احداها عن العمل أيا كان سبب هذا التوقف ، كما أن اتاحة تنوع من المصادر التي يمكن أن يحل احداها محل الاخر سيكون سببا حقيقيا لخفض احتمالية الصراع بين الدول ، ولايخفي هذا المفهوم الطرف عن الاهمية القصوي لتطبيق اجراءات ترشيد استهلاك الطاقة ، كما أنه سيلزم اعطاء المزيد من الاهتمام لعمليات اعادة تدوير واستخدام المنتج ، وستتوازي عمليات اعادة الاستفادة من المواد المطلوبة مثل الورق والمعادن والزجاج مع عمليات معالجة النفايات الكيميائية الخطرة بغرض تحويلها الي غاز قابل للاحتراق أو وقود يمكن استغلاله لانتاج الكهرباء واضافة للاستنتاج السابق فانه يمكن أيضا الاشاره الي ضرورة توجيه الاهتمام الي تدعيم البحث والتطوير لانجاز هذا التحول بنجاح ، فمصادر الطاقة والمواد لم يتم استنفاذها تماما وانما يمكن القول بأنها أصبحت اكثر صعوبة للاستغلال وبالتالي اكثر تكلفة .

البحث والتطوير :

لقد كان لقطع الامدادات البترولية عن الدول المستهلكة في أعقاب انطلاق شرارة حرب السادس من اكتوبر عام ١٩٧٣ تأثيرا بالغا علي شكل الحياة اليومية في أرجاء العالم ، وقد أدي ذلك الي التعجيل بالاعتماد علي مصادر بديلة للطاقة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والغاز الحيوي مع اعتماد اجراءات ترشيد الاستهلاك ، ومع انتهاء الازمة خف الضغط علي البدائل ومع هبوط سعر النفط زاد الاعتماد علي السيارات في انتقال الافراد ، أي أن استخدام الطاقة يعتمد بشكل عام علي الاقتصاديات الحاكمة ، فاذا ما ارتفعت الاسعار يشح استخدام الطاقة واذا ما انخفضت استخدمت الطاقة بحرية دون تحسب للمستقبل ، وفي النهاية فانه حين يعز مصدر الطاقة أكثر وأكثر ويصبح باهظ التكلفة يتقيد استغلاله وتنحسر معطياته للمجتمع ، فاذا ما لم يمكن ايجاد مصادر جديدة أو اذا لم تتوفر مصادر طاقة متجددة فان نوعية حياة الانسان ستتدني وتعود القهقره الي مايعرف بالحياة البدائية ، وتظل المعادلة المعروفة قائمة اذ يزداد الاستهلاك وتلتهب أسعار مصادر الطاقة فيرتب هذا كله انخفاضا في الاستهلاك في النهاية ، وعلي ذلك فان حضارات

المستقبل سوف تنظر بعين الحسرة الي المصادر المهدرة والتي لايمكن تعويضها للنفط والغاز الطبيعي والفحم التي ضاعت بحرقها بدلا من استغلالها في تصنيع منتجات تتحدي الزمن .

لايستطيع المرء تخيل حالة العالم حين تصبح مصادر طاقته نادرة جدا ، ولتحقيق حلم حل مشكلة الطاقة علي المدي البعيد لابد من توفير المال والجهد لبحوث وتطوير الطاقة التي يمكنها الوفاء باحتياجات الانسان لعقود وقرون قادمة ، ولايسع الافراد المستهلكون الا الحرص في الاستهلاك ، الأمر الذي يؤجل المشكلة قليلا ، ومن ناحية اخري يصعب علي المرء أن يتوقع اهتمام منتجي الطاقة بالصرف ببذخ علي البحث والتطوير دون أن يحصلوا لقاء ذلك علي عائدات سريعة ، وفي نفس الوقت لايستطيع المجتمع الاعتماد علي ماهو متاح فقط لتأمين احتياجات المستقبل ، وعلي ذلك فأنه ما من مفر سوي الالتجاء الي الحكومات لتوفير التمويل اللازم للبحث في مجالات الطاقة لخدمة بلادها والمشاركة في البرنامج الدولي الهادف الي تجميع طاقات البحث والتطوير في العالم من أجل بقاء البشر ، وسوف يصبح من الممكن للمنظمة الدولية اختيار أناسا واسعي المعرفة مستقلين ومحل ثقة لانجاز مهام تحليل الأوضاع ووضع التوصيات ليحيط بها العامة والمشرعين ، ولاشك أن القرارات الحازمة لتوفير التمويل اللازم للبحث والتطوير سوف يكون لها تأثيرها الممتد عبر الجهات الادارية المختلفة ، ومن أجل تمويل مثل هذا البرنامج قد يحسن فرض الضرائب علي استهلاك الطاقة وعلي المنتجات والخدمات بشكل يتناسب مع احتياجات توفير الطاقة .

ان اختيار مشروعات البحث والتطوير يحتاج الي دراسة مصادر الطاقة والاحتياج والتقنية علي مستوي العالم وعلي مدي زمني بعيد يغطي احتياجات المستقبل ، ومما لاشك فيه أن وضع قائمة الاولويات هو المهمة الأصعب ، وهناك العديد من الامثلة المرشحة كموضوعات بحث للأختيار والعديد منها قيد التناول والتقدم وان كان يحتاج فقط الي المزيد والمزيد من التمويل وبعضها الاخر يظل

مجرد أفكار تستحق المطاردة ، ونسوق هنا بعضا من تلك الافكار والمشروعات البحثية .

١- التوسع في دراسة طرق تحسين التعليم ومستوي فهم العامة للعلم والتقنية .
٢- الدراسة المتعمقة للعمليات المتصلة بالحوادث الخطرة في المحطات النووية بغرض التوصل الي طرق دقيقة للحسابات الفنية .
٣- تطوير تصميمات واختبارات لنظم مفاعلات عديدة بغرض التوصل الي شكل دائم الامان والسلامة واقتصادي وسهل الانشاء .
٤- التوسع في التقنيات القادرة علي الحفاظ علي الحرارة المفقودة في المفاعلات ونقلها للاستخدام في أغراض التدفئة في الاحياء السكنية .
٥- التوسع في دراسة الطاقة الشمسية وتقنياتها لكي تصبح المكمل المطلوب لتدفئة المنازل والمباني الاقتصادية.
٦- تصميم الوسائل القادرة علي الاحتفاظ الجاف طويل المدي بالوقود النووي المستهلك وتجميعه لفترات زمنيه غير محدودة انتظارا لامكان اعادة استخدامه أو التخلص منه بطرق أفضل .
٧- تعيين الطرق الاقتصادية لفصل كل المواد في الوقود النووي المستهلك بحيث يمكن عزل الكيماويات الناتجة عن الانشطار مفردة مثل اليورانيوم والبلوترنيوم بغرض الحصول علي مواد ثرية ووقود وعناصرنادرة ومصادر خاصة للحرارة وأهداف للتشعيع بالنيوترونات بغرض تثبيطها ودرء خطرها الاشعاعي .
٨- الاستمرار في اختبار المفاعلات المولدة للنظائر بما فيها المستخدمة لليورانيوم والبلوتونيوم والثوريوم واليورانيوم - ٢٣٣ كسلاسل .
٩- مواصلة العمل في خطوط موازية للبحث في الاندماج النووي تشتمل علي الحصر المغناطيسي وطرق المرايا واستخدام الليزر والأيونات.
١٠- تعيين الفوائد الكبري من استخدام الحرارة العالية في مفاعلات الاندماج .
١١- استئناف البحث في الاستخدام السلمي لحرارة الانشطار والاندماج بتفجير نظم نووية تحت سطح الارض .

١٢- تنفيذ رحلات استكشاف فضائيــة لجمـع الهيليـوم -٣ لاختبـار عمليـات متقدمة للاندماج النووي .

١٣- تطوير بطاريات خفيفة الوزن عالية السعة للاستخدام فيما يتصل بتخزين الطاقة اللازمة لمحركات السيارات والناقلات الخفيفة وغيرها بما في ذلك بحث أمكان الشحن المنزلي والاحلال في مراكزمتخصصة .

١٤- تطوير مفاهيم جديدة للسرعات الفائقة الكفاءة ونظم المواصلات الداخلية العاملة علي قضبان مغناطيسية.

١٥- دراسة طرق جديدة لتعذيب المياه بأستخدام نواتج جانبية للطاقة النووية أوبالطاقة الشمسية بغرض امداد المناطق البور بالمياه اللآزمة للشرب والري والتصنيع .

١٦- ايجاد مصادر طاقة بسيطة وزهيدة التكلفة التي تستطيع تحسين الاوضاع المعيشية بسرعة في الدول النامية بحيث لاتمنع تبني تجهيزات أكثر تقدما في المستقبل .

ومما تقدم نجد أنه لزاما علي عالمنا اتباع اسلوب الرجل الحريص الذي لايترك مستقبله للظروف وانما يستثمر بعناية من أجل أن يعيش أيامه الاخيرة ، والحقيقة أن عالمنا اليوم قد اقترب بالفعل من سن الشيخوخة ولا مناص من الانفاق علي البحث والتطوير وهو ينعم باحتياجاته بدلا من أن يفعل ذلك وهو يقاسي نضوب مصادره.

مقالات نووية (١٠)

التطبيقات المفيده للنظائر المشعه

التطبيقات المفيدة للنظائر المشعة فى الحياة

تلعب النظائر المشعة دوراً كبيراً فى عالم اليوم حيث أنها تؤدى دوراً فعـــالاً ســـهلاً وسريعاً وبتكلفة بسيطة فى مجالات الحياة اليومية (الطب – الصناعة – الزراعة – البيئـــة) ففى التطبيقات الزراعية نجد أن النظائر المشعة تلعب دوراً فعالاً كمقتنيات أثر فـــى دراســـة التفاعلات الكيميائية ومصير العناصر ومركباتها سواء فى التربة أو النبات بل وفى محلـــول التربة ، وسوف نتكلم عن هذه المجالات بتفصيل أكثر بعد قليل . ويمكـــن الحصـــول علـــى النظائر المشعة بوسائل عدة منها تعريض أهداف مناسبة لقذائف جســـيمة مختلفـــة مثـــل النيوترونات فى المفاعلات النووية أو بجسيمات مشحونة فى المعجلات ، كما توجد طـــرق أخرى للحصول على النظائر المشعة ، وذلك عن طريق استخلاصها مـــن المـــواد المشـــعة طبيعياً والموجودة أصلاً فى الطبيعة أو من المواد الانشطارية للوقود النووى .

ويوجد اليوم أكثر من ٢٠٠ نظير مشع شائعة الاستخدام ، ولكن هناك فقط عـــدداً يتراوح ما بين ٢٠-٢٥ نظير مشع تمثل أكثر من ٢٥٪ من التطبيقات ، وهى تستخدم فـــى صور كيميائية عديدة كمقتنيات أثر كما يمكن احتواؤها فى مصادر إشعاعية مغلقة ، ويستفاد من الإشعاع المنبعث من تلك المصادر الإشعاعية فى بحوث الفيزياء والكيمياء وعلوم الحياة وللأغراض العلاجية فى المجال الطبى ، وكذلك فى دراسات تأثير الجرعات الإشعاعية علـــى المادة وخاصة فى مجالات البلمرة وحفظ الأغذية والتعقيم الجامى .

ويمكن تقسيم مركبات النظائر المشعة إلى أربع مجموعات حسب طبيعة استخدامها :

١- مجموعة المستحضرات الصيدلية المشعة .

٢- مجموعة المركبات المرقمة لإجراء البحوث الزراعية .

٣- مجموعة النظائر المشعة للدراسات الاقتصادية فى مجال الصناعة .

٤- مصادر إشعاعية .

النظائر كوسيلة قابلة للاقتفاء Isotope Tracers

تعتبر النظائر المشعة من أكثر الوسائل ملاءمة للدراسات الاقتفائيـــة فـــى مجـــالات البيولوجيا والكيمياء الحيوية والفيزياء والجيوفيزياء والجيولوجيا ، وسوف نتكلم بشئ مـــن التفصيل عن استخدامات النظائر المشعة فى مجالات علوم الأرض والزراعة والبيولوجيا مع الإشارة إلى أمثلة من الاستخدامات الطبية والصناعية .

كان أول استخدام للنظير المشع P-32 لدراسة الاستفادة من الأسمدة الفوسفاتية فـــى مجموعة من تجارب الصوبة ، وتجارب الحقل عام ١٩٤٨ ، وكانت هـــذه التجـــارب هـــى الأساس الذى اتبع بعد ذلك بواسطة دراسات أخرى وعلى عناصر مغذية مختلفة ، وبنفـــس الطريقة التى اتبعت ، واعتمدت الطريقة أساسا على وضع النظير من المادة السمادية المراد دراستها ثم قياس الكمية المأخوذة بالنبات مباشرة بشرط أن يكون النظير مناسبا لاستخدامه كطريقة اقتفائية إذ يجب أن يسلك نفس سلوك المادة المراد اقتفائها ، وأن لا يكون لـــه أى تأثير على سلوك هذه المادة فى النظام المراد دراسته ، وحيث أن النظائر تختلف فى أوزانها الذرية فإن النظائر سيكون لها معدلات تفاعل مختلفة اختلافا بسيطا يمكن تجاهله فى معظـــم استخداماتها ، كما أن تتبع بعض النظائر يكون من الحساسية بحيث أن كمية الماء المضافة مع النظير تكون إلى حد ما قليلة بالنسبة للكمية الموجودة أصلا ؛ ولذا فإنها لم تخل بالنظام الموجود أو الاتزان الحادث فعلا ، وعندما يضاف النظير إلى نظام التربة/نبات فإنه إمـــا أن يتحرك أو يتبادل مع المكونات المختلفة فى النظام حتى يحدث ما يسمى بحالة اتزان .

ويلزم لتتبع النظائر الاقتفائية أجهزة خاصة ، وهى بالنسبة للنظائر المشعة تعتبر أقل تكلفة وتعقيدا من أجهزة النظائر الثابتة ، والنظائر المشعة يمكن قياسها باستخدام أجـــهزة التأين أو أجهزة التبلور ، ويعتمد ذلك على نوع وطاقة النظير المشع المراد قياسه ، ومعظم النظائر المشعة المستخدمة فى مجال كيمياء الأراضى تشع إشعاعات بيتا أو جاما ، وخلافـــا لجسيمات بيتا فإن أشعة جاما تتواجد فى نطاق طاقات مميزة بحيث يمكـــن قيـــاس النظـــير المشع لها بواسطة طيفه أشعة جاما ، وأهم النظـــائر المشـــعة الشـــائعة الاســـتخدام هـــى الصوديوم-٢٤، والبوتاســـيوم-٤٢، والكـــبريت-٣٥، والفوســـفور-٣٢، اليـــود-١٣١ ، الحديد-٥٩ ، الاسترنشيوم-٨٥ ، الكالسيوم-٤٥ ، والكروم-٥١ ، وسوف نتعرض لأهـــم استخدامات النظائر المشعة فى مجال الزراعة والطب والصناعة .

وغالباً ما يقال أن الإشعاع النووى ضار للكائنات الحية ، إلا أن هناك من الأدلة ما يشكك فى تلك العبارة ، إذ يبدو مثلاً عدم ظهور زيادة فى حالات الإصابة بالسرطان فى المناطق الجغرافية التى ترتفع فيها الأشعة الخلفية ، كما أنه بتطبيق الإشعاع فى علاج الأمراض مثل مرض السرطان تظهر ميزة استجابة الأنسجة الغير طبيعية على الأنسجة الطبيعية للعلاج ، ففى العديد من الحالات تكون محصلة التأثير فى صالح المريض ، وعلاوة على ذلك فإنه يتوفر الاعتقاد بأن الجرعات الصغيرة تحدث فعلاً إيجابياً حيث تتسبب الجرعات الكبيرة فى ضرر محتوم .

الوظائف النافعة للإشعاع والتطبيقات الطبية

يجرى تطبيق إستخدام الأشعة بأشكالها وبيتا كذلك ، وكذلك الأشعة النيوترونية فى العلم والصناعة لإحداث تغييرات مرغوبة ، فالجرعات الإشعاعية تتحكم فى الكائنات الضارة من بكتريا وخلايا سرطانية كما تقوم بتعقيم أو قتل الحشرات ، كما أن التجمع الموضعى للطاقة يمكنه أيضاً حث تفاعلات كيميائية وتبدلات تركيبية فى اللدائن وأشباه الموصلات ، ويجرى استخدام النيوترونات فى فحص العمليات الفيزيائية والكيميائية الأساسية.

إن كثيراً من الدراسات التشخيصية يمكن إجراؤها إما بإستعمال المنتجات الصيدلانية المشعة ، أو باستخدام منتجات صيدلانية غير مشعة والتى يمكن مزجها (تعليمها) مع المواد المشعة ، وتعطى بعد ذلك للمريض بغرض إجراء الفحص المطلوب ، ويوجد حالياً الكثير من هذه المنتجات التى تستخدم بشكل رتيب فى الفحوصات الطبية لمختلف أعضاء الجسم ، ويمكن تطبيق هذه الفحوصات لدراسة عمل الغدة الدرقية والرئة والقلب والكبد والكلية والعظام والمفاصل واستقلاب الأملاح المعدنية وجريان الدم الموضعى ... وغيرها.

ولقد فتح توافر النظائر المشعة الباب على مصراعيه لمجال كامل من مجالات الطب يعرف بالطب النووى ، فعندما يعطى نظير مشع إلى شخص ما -

عن طريق الفم أو الدم - يمكن إقتفاء أثره (أى معرفة موضع ذلك النظير وكمية وكيفية توزيعه فى الجسم) ، وذلك باستعمال كاشف يقيس الإشعاع من خارج الجسم ، كما يعين على تشخيص العديد من الأمراض. ونظراً للحساسية الكبيرة لهذا الفحص فإنه يمكن إجراؤه بإدخال كمية صغيرة جداً من المادة المشعة إلى الجسم مما يعنى أن الجرعة الإشعاعية التى يتعرض لها المريض نتيجة هذا الفحص منخفضة وفى حدود المسموح بها طبياً.

ومن أنواع الإختبارات والمعالجات المستعملة فى مجال واحد من المجالات المذكورة أعلاه وهو مجال الغدة الدرقية يمكن إيراد ما يلى :

١- إمتصاص الغدة الدرقية لليود المشع.

٢- سرعة دورة اليود الإستقلابية.

٣- الدورة الإستقلابية لليود الذى تمثلته البلازما.

٤- إستجابة مريض الإسمام الدرقى للعلاج.

٥- الإستجابة للمعالجة بالأدوية المضادة للدرقية.

٦- الإستجابة للمعالجة بعد إستعمال اليود المشع أو الإستئصال شبه التام للغدة الدرقية.

٧- تحديد نسبة هرمونات الغدة الدرقية.

إن من أوائل الفحوصات التى طورت فى الطب النووى هى تقييم عمل الغدة الدرقية التى تقع فى القسم الأمامى من الرقبة ، وهى على صغر حجمها كبيرة الأهمية ، فهى تقوم بإنتاج هرمون مهم يدعى الثايروكسين ، فالأفراد الذين يزداد عندهم نشاط الغدة الدرقية يميلون إلى العصبية وسرعة الإنفعال وكثرة

التعرق مع شدة تحول الأبدان ، بينما يؤدى ضعف الغـدة الدرقيـة إلـى الكسـل والخمول وزيادة فى الوزن ، وبطء فى الكلام ، وتزول هذه الأعراض سريعا بعـد إعطاء المريض هرمون الغدة الدرقية -- على شكل حبوب صغيرة -- عن طريـق الفم ، وحيث أن هذه الأعراض لا تقتصر على إختلال عمل الغدة الدرقية فحسـب ، بل قد يكون سببها شئ آخر ، فإنه من المهم إجراء فحص يسـير للتـأكد مـن الحالات التى تكون فيها الغدة الدرقية هى السبب ، فيصبح علاجها عندئذ يسيراً.

لإجراء فحص الغدة الدرقية هناك طريقتان :

(١) يسقى المريض كمية من اليود المشع (المنتج بتشعيع اليود بالمفـاعلات النووية) حيث يمتص هذا اليود عن طريق الأمعاء إلـى الـدم ، والـذى ينتقل قسم منه إلى الغدة الدرقية ، والقسم الآخر يطرح خـارج الجسـم عن طريق البول.

إن كمية اليود التى تصل إلى الغدة الدرقية تعتمد على نشاطها ، فالغدة المفرطة النشاط التى تنتج كمية فائضة من الثايروكسين تسـتهلك كمية كبيرة من اليود والعكس صحيح ، حيث أن الغدة الخاملة تسـتهلك كمية قليلة من اليود المشع. وتقاس كمية اليود المشع المتجمعـة فـى الغدة ، وانتظام إنتشار هذا التجمع باستعمال أجـهزة خاصـة تسـمى " كاميرا جاما " وذلك لتقييم نشاطها وتشخيص علتها.

إن تضخم الغدة الدرقية يكون سببه أحياناً قلة اليود فى الطعـام ، وليس بسبب مرض الغدة الدرقية ، فمثلاً لسنوات عديدة خلـت كـان سكان الجبال البعيدة عن البحر يعانون تضخم الغدة الدرقية نظـراً لعـدم

تناول الأسماك والمواد الأخرى التى يتوافر فيها اليود ، ويضاف اليود حاليا إلى ملح الطعام لسد النقص فى اليود الذى قد يحدث لعدم تناول الأطعمة الغنية به.

(٢) أما الطريقة الثانية لفحص عمل الغدة الدرقية فيتم بقياس مقدار هرمونات الغدة الدرقية بالدم ، وذلك بأخذ عينة من الدم وقياس كمية الهرمونات فيها بواسطة طرق خاصة تستخدم فيها المواد المشعة ولا يحتاج المريض بهذه الطريقة إلى أخذ مادة مشعة أو غير مشعة بل تؤخذ عينة الدم أولا ثم تضاف إليها المادة المشعة.

وبالإضافة إلى ذلك فإن العلاج الأمثل لنسبة ملحوظة من المرضى الذين يعانون إرتفاع نشاط الغدة الدرقية هو اليود المشع ، وفى هذه الحالة تعطى جرعة مرتفعة – تزيد ألف مرة على تلك المستعملة فى فحص الغدة الدرقية – فيرتكز معظم اليود المشع ويستقر فى الغدة الدرقية ما يعرضها إلى جرعة مركزة من الإشعاع ، وبذلك يضعف نشاطها إلى المستوى الطبيعى ، وتزول أعراض المرض بعد ذلك بفترة قصيرة.

وبنفس الطريقة يمكن دراسة أنسجة مختلفة من الجسم مثل الهيكل العظمى والرأس بإستخدام نظائر مشعة مناسبة ، كما يمكن إستعمال النظائر المشعة فى قياس أحجام السوائل التى لا يمكن قياس أحجامها بالطرق المباشرة مثل الدم.

العــلاج الإشـــعاعى :

يمثل العلاج الإشعاعى أحد الطرق الرئيسية الثلاث لعلاج السرطان وهى: (العلاج الإشعاعى ، الجراحة ، العلاج الكيميائى) وهناك طريقـــة رابعـــة تجـــرى حولها بحوث كثيرة فى الوقت الحاضر وهى طريقة العلاج بـــالحرارة ، وطريقتـــا العلاج الإشعاعى والجراحة تستعملان فى السيطرة على الأورام الموضعية ، بينما يقتصر العلاج الكيميائى على السرطان المنتشر فى الجسم.

تزايدت أشكال العلاج الإشعاعى خلال السنوات الماضية بدرجة ملحوظـــة حتى أصبحت تقدر بالملايين سنوياً ، وتتعدد ألوان العلاج الإشعاعى ، فمنها مـــا يعتمد على وحدات تحتوى على مصدر مشع توضع على أبعاد معلومة من الـــهدف المراد تعضه للإشعاع أو من خلال نظائر مشعة موضوعة فى حاويات محكمة يتـم زرعها فى الجسم أو بمحاليل تشتمل على مواد مشعة يتناولها الإنسان.

ولقد وجد أن الجرعات الإشعاعية ذات فاعلية فى علاج أمراض معينـــة منها مثلاً السرطان ، فأشعة جاما الصادرة من النظير المشع كوبلت-٦٠ بمكنـــها إختراق الجلد وبحد أدنى من التفاعل معه إلى الأنســـجة العميقـــة فـــى الجســـم وبجرعات عالية ، كما أن الأجهزة المستخدمة فى ذلك قادرة على أداء وظائفـــها بدرجة يمكن الإعتماد عليها.

فى البداية كان العلاج بالزرع الموضعى يعتمد على نظير الراديوم-٢٢٦ المشع لأشعة ألفا ، أما الآن تتنوع المواد المتاحـــة لـــهذا النـــوع مـــن العـــلاج الإشعاعى حيث تتوفر كبسولات الكوبلت-٦٠ والسيزيوم-١٣٧ التانتـــالم-١٨٢ والإيريديوم-١٩٢ والذهب-١٩٨ ، كما تتوفر مصـــادر لإشـــعاع النيوترونـــات السريعة من النظير كاليفورنيم-٢٥٢.

ومن أمثلة النجاحات فى هذا الشأن علاج حالات مرضية للغـــدة النخامية بواسطة الجسيمات المشحونة المنطلقة من مُعجل لـــها ، وقـد تحققت نتائج طبية من قذف الأورام بنيوترونـــات بطيئـــة بعـد حقنـــها بمحلول البورون ، كما تعالج بعض أنواع السرطان على أساس إنتقاليـــة الإمتصاص للكيماويات وذلك بتناول محـــاليل نظـــائر مناســـبة للمهمـــة المطلوبة ، ومن أمثلتها اليود-١٢٥ أو اليود-١٣١ لعلاج الغدة الدرقيـة والفوسفور-٣٢ لعلاج العظام ، ولقد استطاع العلمـــاء التعـرف علـــى ميكانيكية فعل الإشعاع كيفيا ، فلقد وجد أن الخلايـــا الســرطانية التـــى تتصف بسرعة الإنقسام تتأثر بدرجة أشد بالإشعاع مما تتأثر به الخلايـــا العادية ، وعلى الرغم من تضرر نوعى الخلايا بالإشعاع إلا أن الخلايـــا الغريبة تستعيد قدراتها ببطء ، كما وجد أن الإشعاع إذا ما أعطى علـــى جرعات كان فعله أقوى ، حيث يتم تقسيم الجرعة الكلية المطلوبة إلـــى جرعات صغيرة تعطى على آماد زمانية بمـــا يســمح للخلايـــا العاديـــة باستعادة عافيتها ، كما أظهرت الدراسات دور توفر زيادة من الأكســجين فى إحداث الأثر المرغوب. وللتعامل مع أعضاء معينة أو نظـم حيويـــة خاصة قد يلزم تطبيق منظومة تشتمل على الإشعاع والعـلاج الكيميـــائى والجرعة معا ، ومما لاشك فيه أنه قد تـــم إحـراز تقـــدم واضـــح فـــى محاصرة الأمراض السرطانية على مـــدى الأعـوام الماضيـــة غـــير أن الحاجة لازالت ماسة لمعرفة المزيد عن بيولوجيـــا الخليـــة مـــن أجـــل التوصل لعلاجات حاسمة لها.

ومن لتطورات الحديثة نسبيا فى العـــلاج الإشـــعاعى إســـتخدام النيوترونات فى علاج السرطان بدلاً من الأشعة السينية أو أشعة جاما.

إن العلاج الإشعاعى مبنى على مقدرة الإشعاع الذرى على قتل الخلايـا ، أو جعلها غير قادرة على التكاثر والإنتشار ، فـالورم السـرطانى ينمـو بسـبب التكاثر غير المنضبط للخلايا السرطانية ، ولهذا فإن أيــة وسـيلة توقـف هـذه المقدرة على التكاثر يمكنها أن تتحكم فى نمو السرطان ، والإشـعاع مـن أهـم الوسائل الفعالة فى هذا المجال.

أ- العــلاج الإشعاعى للأورام :

وفى العلاج الإشعاعى للأورام السرطانية توجه حزمة الأشـعة نحو الورم بصورة دقيقة لتشمل كتلته المعروفة فقط مع التقليـل - مـا أمكن - من حجم الأنسجة الصحيحة المعرضـة للإشـعاع ، ويجـب أن يتجنب فى ذلك تشعيع الأنسجة الحساسة - بصورة خاصـة - كـالحبل الشوكى والعين. وقد وجد بالخبرة أن العلاج الـذى يعطـى بجرعـات إشعاعية صغيرة على فترات تصل إلى خمسة أيام فى الأسبوع وتمتـد من أربعة إلى ثمانية أسابيع هو الأكثر فعالية فى قتل الخلايا السـرطانية مع تقليل التلف للأنسجة الصحيحة ما أمكن.

كذلك فقد طورت أجهزة العلاج بالأشعة لزيادة كفاءتها وقدرتـها على علاج أنواع السرطانات العميقة ، ويوجد الأن فى معظـم المراكـز الكبيرة للعلاج الإشعاعى مسرّع نووى أو أكـثر أحيانـا ، ومثـل هـذه الأجهزة تولد أشعة لها القدرة على الوصول إلى الورم السـرطانى فـى أعماق الجسم ، كما توجد وحدات العلاج الكوبلتى التى تسـتخدم أشـعة جاما من مصدر " الكوبلت-٦٠ " المشع لنفس الغرض.

ب- عـلاج الأورام بالنظائر المشعة :

وهناك طريقتان أخرتان للعلاج بالأشعة ؛ تسمى الأولى الطـب النووى العلاجى ، حيث يعطى المريض المادة المشعة المناسـبة التـى تتجمع فى العضو المصاب للعلاج كما فى بعض أنـواع سـرطان الغـدة الدرقية. وتقوم الطريقة الثانية على تعريض العضـو المـراد علاجـه بالتشعيع المباشر وذلك بإدخال المصدر المشع داخل أنبوبة حافظة إلـى مكان التشعيع داخل الجسم ، أو توضع المصادر المشعة المغلقـة علـى السطح المراد علاجه كما هو فى علاج سرطان عنق الرحم.

جـ- العـلاج بالنظائر المشعة للأمراض الأخرى :

هناك أمراض أخرى غـير الأورام يمكـن علاجـها باسـتخدام النظائر المشعة ومن أهمها وأكثرها شيوعاً مرض فرط الغدة الدرقيـة ، حيث يعطى المريض جرعة مناسبة من اليود المشع تبعاً لشدة المرض ، لتقليل عمل الغدة الدرقية إلى الحد الطبيعى المطلوب ، كمـا سـبق وأن وضحنا. وهناك الفوسفور المشع الذى يسـتخدم فـى معالجـة الزيـادة المفرطة لكرات الدم الحمراء ، كما أنه يوجد عدد من المـواد المشـعة المستخدمة فى معالجة بعض أمراض المفـاصل ، وبخاصـة أمـراض المفاصل الروماتيزمية ، ولكن هذه الطريقة ليست شائعة الإستعمال.

إستخدام النظائر المشعة فى التحليلات الطبية المعملية :

تسمى طريقة إستخدام النظائر المشعة فى التحليلات الطبية المعملية بالطريقة الإشعاعية المناعية Radioimmunoassay وتمتاز بحساسيتها الفائقة ، ولهذا تستعمل فى تحليلات طبية معملية متعددة تشمل كلاً من الهرمونات والإنزيمات والفيتامينات وفيروسات إلتهاب الكبد وبعض البروتينات المصلية وبعض الأدوية ، وفى هذه الحالة ، تؤخذ عينة من مصل دم المريض – أو أحد سوائل الجسم الأخرى – وتضاف إليها النظائر المشعة المناسبة وذلك لفحص المادة المرغوبة (الهرمونات خاصة) مثل قياس تركيزها ومعرفة البروتين الرابط الذى قد يرافقها عادة. وتمتاز هذه الطريقة بأنها لا تحتاج إلى تعريض المريض للإشعاع ، كما تمتاز برخصها عادة لأنها لا تتطلب أكثر من أخذ عينة دم أو بول مثلاً. وتعد هذه الطريقة من أحدث الطرق المستعملة على نطاق واسع للتشخيص باللجوء إلى النشاط الإشعاعى ، وتقدر عدد الفحوصات التى تجرى سنوياً بهذه الطريقة بعشرات بل مئات الملايين !. ولعل أوسع إستعمال لهذه الطريقة البديعة النوعية هو إستعمالها فى فحص الهرمون الدرقى الثايروكسين والدايجيتوكسين وهرمون النمو البشرى ، ويمكن كذلك – وهذا ما يحدث غالباً – فحص الدم المتبرع به لاحتمال إحتوائه على الفيروسات الخطرة التى قد تسبب إلتهاب الكبد.

وقد وجد أن تشخيص الإصابة بالقصور الدرقى لدى حديثى الولادة يجب أن يجرى بأسرع ما يمكن بعد الولادة لأنه سرعان ما يحدث تلفاً فى الرأس لا يشفى ، وفى بعض البلدان الأوربية هناك مولود من بين كل ألفين تقريباً من حديثى الولادة يعانى قصوراً درقياً ، ولذلك تركب الآن أجهزة آلية بشكل كامل للمعايرة الإشعاعية المناعية يستطيع كل منها أن يقوم بمائة ألف

معايرة فى العام ؛ فإذا ما ثبتت الإصابة بالمرض يبدأ المعالجة بالهرمونات بعد أيام من الولادة.

ويمكننا القول عموما إن المعايرة المناعية الإشعاعية هى اليوم إحدى الطرق الأكثر إستعمالاً للتشخيص والأقل تكلفة.

ويتكاثر إستعمال المعايرة الإشعاعية فى الطب البيطرى ، ويتسع نطاقها كما فى الطب البشرى ، لكشف وقياس عدد متزايد من المواد الأساسية.

تصنيع اللقاحات :

تم تطوير لقاحات خاصة وذلك بتوهين الجراثيم والطفيليات بالإشعاع لوقاية حيوانات المزارع من الأمراض السارية التى تضر بالإنتاج ، ، ويفيد الإشعاع هنا فى تخفيض القدرة المرضية لطفيل معين بنسب دقيقة مما يمكن من إستخدامه لقاحاً دون أن يقلل من قدرته على إحداث المناعة لدى المريض.

وقد استخدمت اللقاحات الإشعاعية على نطاق واسع فى وقاية الماشية من عدة أمراض طفيلية مثل الإلتهاب الشعبى الديدانى الذى تسببه "الدودة السلكية" التى تصيب البقر ، والإلتهاب الشعبى الديدانى الذى تسببه "الدودة السلكية" التى تصيب الغنم ، وكذلك "الدودة الشعبية الكلبية". ولهذه اللقاحات إمكانية كبيرة للسيطرة على الأمراض المشار إليها فى عدد كبير من بلدان العالم ، ويمكن بسهولة الحصول على كميات كبيرة من الطفيليات فى طور الإصابة والتحصين اللازم لإنتاج اللقاح ، كما يمكن تخزينها لمدة مقبولة. والعجول والحملان الملقحة بجرعتين من هذا اللقاح تقاوم التحدى الكبير حين تعرضها للعدوى الدائمة فى الظروف الحقلية.

وقد وجد مؤخرا طريقة يؤمل منها الحصول على لقـاح ضـد مـرض الملاريا، فقد طور لقاح وأنتجت من كميات قليلة ، بجعل طفيليات الملاريا غـير فعالة فى الطور الجرثومى ، وذلك بتعريض البعوض الحامل لطفيـل الملاريـا للإشعاع ثم السماح للبعوض الذى ينجو من الإشعاع بأن يلدغ متطوعين نـاقلا إليهم الجراثيم العاجزة التى – برغم عدم قدرتها على التكاثر – تحرض دفاعهم على توليد المناعة ، ولكن تبقى بعض العقبات والشكوك حول هـذه التجـارب مما يستدعى مزيداً من البحث قبل إستعمالها.

تعقيـم الإمدادات والمنتجـات الطبيـة :

منذ إكتشاف الأمراض الجرثومية لم يكل سعى الإنسان فى البحث عـن طرق فعالة لتعقيم المنتجات الطبية ، ومن أمثلة ذلك الأجهزة الطبية ، القفـازات البلاستيكية والخيوط الجراحية والأدوية الطبية والإبر الطبية والمحاقن ، وفـى الماضى كانت الطرق المعلومة لقتل البكتريا تتضمن التسخين الجاف والمعالجـة بالبخار تحت الضغط واستخدام الكيماويات القوية مثل حامض الكاربوليك وغـاز أكسيد الإيثيلين ، إلا أن بعض الكيماويات تعد شديدة الفعل على المنتج القـابل للإستعمال مرات أخرى، وغالباً ما تكون تلك الكيماويات نفسها ضـارة طبيـاً ، وقد أدخل حديثاً إستخدام الإشعاع الإلكترونى الصادر من معجـل حيـث تبيـن تميزه فى إنجاز بعض التطبيقات التعقيمية.

إن القضية الخاصة للتعقيم بأشعة جاما الصادرة من النظير كوبلـت-٦٠ هى أن الأشعة قادرة على إختراق المادة بشكل جيد ، وعليه فإنـه يمكـن تشعيع المنتج مغلقاً بإحكام بالبلاستيك مما يوفر ظروف الحفظ من الميكروبيـات حتى ساعة الإحتياج له فى المستشفى ، وعلى الرغم من أن الجـرعة المشعـة

غالية إلا أن التجهيزات اللازمة بسيطة وبوثق فى أدائها وهى تشتمل على المصادر المشع وسواتر الإشعاع وسيور النقل ، وتحتاج الوحدة النموذجية لمصدر إشعاع نشاطيته تبلغ واحد مليون كورى.

من المعروف أن الجرعات العالمية من الإشعاع تقتل البكتيريا ، ولذلك يستخدم الإشعاع وعلى مدى واسع فى تعقيم المنتجات والأجهزة الطبية ، فما استجد من الحقن البلاستيكية التى تستخدم لمرة واحدة ، وأجهزة نقل الدم – على سبيل المثال – قد أدى إلى ثورة فى عمل التمريض ، فلقد قلل أعمال التنظيف اليومى ، وأنقص إلى حد كبير حصول حوادث العدوى ، وهكذا فالأجهزة المعقدة كأجهزة "الرئة والقلب" الصناعية ووحدات تنظيف الدم لمرضى الكلى غالبا ما تعقم إشعاعيا قبل الإستعمال لأنها الطريقة الأفضل فى التعقيم ، وتوجد مصانع كثيرة للحقن الطبية يستخدم فيها الإشعاع للتعقيم ، كما تعرض الحقن بعد تصنيعا وتغليفها إلى جرعة من أشعة جاما قدرها حوالى خمسة وعشرون ألف جراى ، باستخدام مجموعة من مصادر النظير المشع "كوبلت-٦٠" تبلغ شدتها الإشعاعية الكلية حوالى ٦ × ١٠^١٥ بيكريل [أى حوالى ١٦٧٠٠٠ كورى] (وقد أضيف لها حديثا مجموعة أخرى من نفس المصدر المشع ليبلغ مجموع شدتها ٩ × ١٠^١٥ بيكريل وذلك بغرض زيادة الإنتاج بتقليل مدة المعالجة الإشعاعية) ، وتحفظ هذه المصادر عند عدم إستخدامها فى حوض ماء خاص ، يبلغ عمق الماء فيه ٩ أمتار ، وذلك للوقاية من الأشعة التى تطلقها تلك المصادر باستمرار.

وهناك طرق أخرى تستخدم فى تعقيم المنتجات الطبية مثـــل التعقيـــم بالحرارة ، أو باستخدام المواد الكيماوية ، إلا أن طريقـــة التعقيـــم الإشـــعاعى تمتاز عليها بما يلى :

١ - يمكن أن تكون المواد المراد تعقيمها موجودة ضمن عبوات محكمة السد لمنع دخول الميكروبات الدقيقة ، فتخترق أشعة جاما العبوات لتبلغ كل أجزاء الجسم المراد تعقيمه ، وتبعاً لذلك يبقى مفعول التعقيم قائماً لأمد غير محدود عملياً إذا لم تفتح عبوة المادة المعقمة.

٢ - لا يحدث الإشعاع (فى حدود الجرعات المستعملة عادة للتعقيم) أية زيادة محسوسة فى درجة الحرارة ، الأمر الذى يسمح بتعقيم المواد الحساسة للحرارة كالبلاستيك وهذه هى الطريقة المثلى - إن لم تكن الوحيدة - لتعقيم المحضرات ذات المنشأ الحيوى أو العضوى.

٣ - إن التعقيم بالأشعة يمكن أن يجرى باستمرار وآلياً ، ولا يوجد سوى وسيط واحد ينبغى ضبطه ، ألا وهو زمن التعريض.

التعقيم بواسطة الإشعاع

التعقيم يعني إزالة كل الميكروبات سواء كانت خلايا خضرية أو جراثيم أو فطريات أو طفيليات من المواد المراد تعقيمها، ويتم بعدة طرق مختلفة منها الكيميائية والفيزيائية واستخدام الغازات مثل الإيثيلين أوكسيد والفورمالدهليد وأخيرا التعقيم بالإشعاع (الأشعة المؤينة وغير المؤينة) .

وقد أثبتت الدراسات والأبحاث العديدة التي أجريت في السنوات الماضية أن الغازات المستخدمة في تعقيم المواد البلاستيكية والمباني والحجرات والادوات والمستحضرات الطبية مثل غاز الإيثيلين أوكسيد يتسبب في أضرار جسيمة على الصحة العامة للأفراد والمستخدمين له وكذلك المنتج الذي يتم تعقيمه لما له من بقايا تحتاج إلى وقت طويل ليتخلص منه الغذاء أو المنتج الطبي أو الصيدلي المعامل به ، هذا بالاضافة الي سمية هذا الغاز وقابليته للاشتعال وتأثيره الضار على الاعصاب والمخ والخصوبة وكذلك قدرته على إحداث السرطانات وتشوهات الأجنه وطفرات الجينات .

وفي الابحاث الأخيرة في السنوات الماضية وجد أيضا ان استخدام الأتوكلاف كوسيلة للتعقيم يسبب تاثيرا ضارا وسيئا للمواد البلاستيكية ومن الممكن أن يحول المواد الصيدلية إلى مواد غير فعالة وكذلك السوائل البيولوجية تفقد قيمتها إذا تم تعقيمها بهذه الوسيلة .

قفاز طبى وشاش معقم



وبناءً على التوصيات الكثيرة من منظمة الصحة العالمية ومنظمات الأغذية باتخاذ الحذر من وسائل التعقيم التقليدية لما لها من أثر بالغ على الصحة العامة للأفراد وكذلك حالة المنتج ووجد أن التعقيم بالإشعاع افضل الطرق وأقلها تأثيرا . على البيئة المحيطة وعلى المنتج نفسه المعالج بالإشعاع

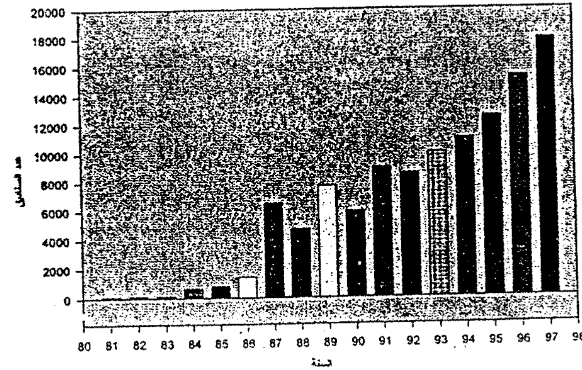
تتميز الاشعة المؤينة بنفاذيتها وطاقتها العالية والقدرة علي القضاء علي الميكروبات الاكثر مقاومة للحرارة دون المساس بالقيمة أو خواص المواد المعرضة لها ، ومن مميزات المعالجة بالاشعاع أن ارتفاع درجة الحرارة اثناء التعقيم بالاشعاع في المنتج غير محسوسة وعليه يمكن معالجة المستحضرات الحساسة للحرارة بواسطة الاشعاع ومن الممكن أيضا أن يحدث بعض التغيرات الكيميائية والفيزيائية ولكنها أيضا غير محسوسة أو مؤثرة علي الصفات العامة للمنتج المعروض للاستهلاك عند الجرعات المذكورة والمنصوص عليها من قبل الوكالة الدولية والتي تم دراستها بالجهات البحثية المتخصصة بهيئة الطاقة الذرية المصرية .

إن الاستخدام السلمي للإشعاع أصبح من سمات فترة ما بعد الحرب العالمية الثانية،و من أهم تلك الاستخدمات إستخدام أشعة جاما في تعقيم المنتجات الطبية مثل الحقن ذات الاستخدام للمرة الواحدة والخيوط الجراحية وخلافه وكذلك استخدام الأشعة في التوصل إلي الإقلال من الفاقد في المواد الغذائية .

وتعتبر معالجة الأغذية بالإشعاع من أهم وأحدث الطرق التي تعطي نتائج مشجعة وأصبحت هذه التكنولوجيا منتشرة في كثير من بلدان العالم ، ومركز تكنولوجيا الإشعاع يعتبر الركيزة الأساسية في جمهورية مصر العربية لبحث وتطوير الاستخدام السلمي للاشعاع ،وللمساهمه في مواكبة العصر في هذا المجال فقد تم إنشاء وحدة الكوبالت ٦٠ الصناعية (ميجا جاما مصر -١) وبدأ الإنتاج بها عام ١٩٧٩ وتم التسويق لخدمات التعقيم والمعالجة بالاشعاع، وتوالي تعاقد الشركات مع المركز علي التعقيم منذ عام ١٩٨٠ وحتي الان ولاقت نجاحا منقطع النظير. وقد بدأ الإنتاج بحجم ٥٠٠ صندوق قياســـــــي (١٩ر٠ م٣) عام ١٩٨٠ وقد وصل الانتاج عام ١٩٩٧ الي ١٩٠٠٠ صندوق قياسي .

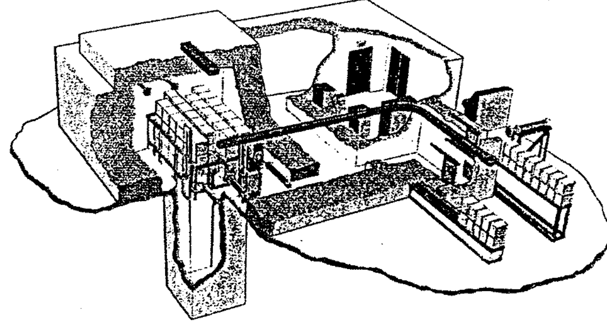
واستكمالا لرسالة المركز فقد تم عمل البحوث والدراسات اللازمة لتعريض المنتجات الغذائية الزراعية ، وتوصل المركز عن طريق علمائه وباحثيه إلى طرق معالجة المنتجات الزراعية الجافة مثل البصل والثوم المجفف وجميع أنواع التوابل بجرعات إشعاعية بسيطة ولكنها تقضي على الآفات الضارة وتحسن خواص المنتج مما يزيد فترة التخزين ويساعد علي التصدير.

حجم الانتاج بالصندوق القياسي في الفترة من ١٩٨١ الى ١٩٩٧



ووحدة الكوبالت ٦٠ الصناعية أقيمت لأغراض التعقيم ومعالجة الأغذية وهي تعمل أتوماتيكيا وتتكون من :

- مصدر كوبالت ٦٠ المشع .
- سيور خارجية لنقل المنتج المراد تعريضه من خارج الوحدة وداخلها ثم خروجه مرة أخرى بعد تعريضه.
- عربية تنقل صناديق داخل الوحدة إلى أرفف تعريض حول المصدر.
- دوافع هيدروليكية تعمل بالهواء المضغوط لتحريك المنتج حول المصدر المشع .
- حاجز واقي من الأشعة المؤينة ويتمثل في حجرة التشعيع المصنوعة من الخرسانة عالية الكثافة وبسمك حوائط يصل الي ١٨٠ سم في بعض الأماكن.
- أرفف التشعيع وهي عبارة عن ثمانية أرفف على مستويين حول المصدر المشع لتحريك صناديق الانتاج عليهم حول المصدر للتعريض .
- لوحة التحكم وهي لإمكانية عمل الوحدة اتوماتيكيا وبيان حركة المنتج وبيان مستوى الإشعاع داخل الوحدة وللتحكم في المصدر المشع عند اللزوم.
- الوحدة مجددة الهواء دائما وبها وسائل الأمان والحماية اللازمين طبقا لتعليمات الوكالة الدولية للطاقة الذرية .

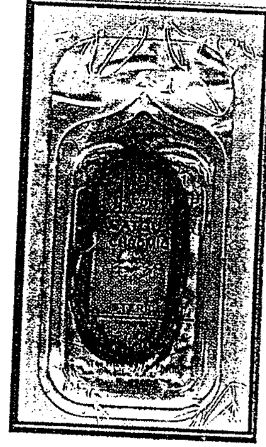


وحدة الكوبالت 60 الصناعية



خط التعقيم بوحدة الكوبالت





خيوط جراحية وجهاز نقل محاليل معقمة

تكنولوجيا الإشعاع لتقليل فاقد الغذاء مستقبلا

عندما يفكر الناس فى الطاقة الذرية غالباً مـا يتبـادر إلـى أذهانـهم القنابل أو المفاعلات الذرية ، وقلائل هم الذين يدركـون أن ثمـة إسـتخدامات أخرى للطاقة الذرية فى حياتنا اليومية لا يمكن الإستغناء عنها ، فهى تسـتعمل فى تحسين المحاصيل الزراعية ، وفى حفظ الأغذية ، وفى تحديد مصادر المياه الجوفية ، وفى تصوير خطوط الأنـابيب بالأشـعة ، وفـى عمليـات التحكـم الصناعية ، وفى دراسة تلوث البيئة ، وفى البحوث العلمية. هذا بالإضافة إلـى إستخداماتها الطبية التى تحدثنا عنها سابقاً ، وسيكون حديثنا هنا عن إسـتخدام الإشعاع الذرى فى كل من الزراعة والصناعة والبحث العلمى.

تطبيقات التقنيات النووية في الزراعة

تساعد النظائر المشعة والإشعاع فى حل الكثير من المشاكل الزراعيـة وتطويرها مثل :

١- تحديد الشروط اللازمة لرفع كفاءة إستخدام كل من الأسـمدة والميـاه وتثبيت النيتروجين فى التربة.

٢- إنتاج أصناف من المحاصيل الزراعية تمتاز بإنتاجية عالية ، وتقـاوم الأمراض والظروف البيئية.

٣- مكافحة الحشرات أو الحد منها باستخدام الحشرات العقيمة جنسياً أو التى غيرت حاملات الوراثة فيها باستخدام الإشعاع.

٤- تحسين إنتاج وتغذية الحيوانات وتحسين صحتها باستخدام الفحوصات الإشعاعية لجهاز المناعة والتقانات المتعلقة به بالإضافة إلى النظائر التتبعية.

٥- تقليل الخسارة فى المحاصيل أثناء التخزين بإيقاف التبرعم والتلوث وذلك باستخدام المعالجة الإشعاعية.

٦- تقليل الأمراض التى تلوث الغذاء طبيعياً وإطالة عمر صلاحيته باستخدام الإشعاع.

٧- دراسة طرق تقليل التلوث من المبيدات الحشرية والمواد الكيميائية المستخدمة فى الزراعة.

إن البقوليات التى تثبت النيتروجين يمكن أن تعطى بروتينات عالية لاستهلاك كل من الإنسان والحيوان ، وتزيد النيتروجين فى التربة. والنظائر المشعة يمكن أن تستخدم لمعرفة كمية النيتروجين التى يستطيع النبات تثبيتها وكيفية تحسين ذلك ، والتقانات النووية من الأدوات المثالية للتمييز بين النيتروجين المأخوذ من الجو وذلك الذى من التربة أو من السماد المستخدم.

كذلك فإن الماء من العوامل المهمة التى تحدد وتقيد إنتاج المحاصيل فى العديد من الأماكن فى العالم، كما أنه ضرورى للصناعة ولاستيطان الإنسان ،

من هنا كان ترشيد إستخدام الماء فى الزراعة يتطلب مراقبة مستمرة لنسبة رطوبة التربة ، ويعد مقياس الرطوبة النيوترونى من الأجهزة المثالية لهذا الأرض ، ويساعد على الإستغلال الأمثل لمصادر المياه المحدودة.

كما يمكن إستعمال النظائر المشعة فى دراسات كل من المياه السطحية وتحت السطحية من مثل قياس جريان الجداول والأنهار ، وتحديد إتجاه حركة المياه تحت السطحية ، وتسرب الماء من البحيرات والخزانات والترع ، وفى معرفة حركة المياه فى كل من البحيرات والخزانات ، وغير ذلك بطرق سهلة وسريعة.

١- تحسين البذور :

إن من المنطق أن يعمد الإنسان إلى تحسين محاصيله الزراعية كما ونوعاً. ويحدث للنبات ولغيره من الأحياء طفرات آنية يفضل بعضها بعضاً فى عدد من الصفات ، ويمكن زيادة معدل الطفرات فى النبات بالمعالجة الإشعاعية وبذلك يمكن إختيار أفضل تلك الطفرات صفات ، وبالتالى يمكن إعداد البذور التى تنتج أفضل المحاصيل.

وفى الخمسين سنة الماضية أجريت عشرات الآلاف من التجارب التى إستعمل فيها التشعيع بقصد إحداث طفرات فى البذور تكسبها صفات مرغوبة لتحسين الإنتاج، ويستخدم لهذا الغرض الأشعة السينية أو أشعة جاما أو النيوترونات السريعة بالإضافة إلى العوامل الكيميائية ، إلا أن طريقة التشعيع أعطت أعلى عدد من الطفرات المحسنة. ويقدر عدد أنواع الغلال الزراعية

المنتجة بالطفرات المحدثة بما يزيد على ١٥٠٠ نوع حتى الآن مما يوفر الأموال الطائلة من الدخل سنوياً للمزارعين.

ومن أهم الصفات المرغوبة التى يمكن الحصول عليها بالتشعيع هى تحسين مقاومة النبات للأمراض وللطقس ولدرجة ملوحة المياه والتربة ، وتحسين صفات البذور ، وتغيير مدة النضج ، وزيادة إنتاجية المحاصيل ن وغير ذلك.

ومن أمثلة النجاح فى إستخدامات طفرات نباتية ذات مردود إقتصادى كبير النجاح الباهر الذى حققته باكستان سنة ١٩٨٣ فى إحداث طفرة فى بذور القطن أدت إلى تضاعف إنتاج ذلك المحصول فى الباكستان ، فبلغ عام ١٩٨٨ ما يزيد على ١٥٠٠ سلالة من الطفرات المحدثة فى الغلال ، وتسعين بالمائة من هذه الطفرات محدثة بالتشعيع ، فى حين أن ١٠ % فقط منها محدثة بالطرق الكيميائية.

والجدول رقم (١) يبين بعض أنواع النباتات التى أحدثت فيها طفرات وراثية ذات مردود إقتصادى جيد والبلدان المستخدمة لتلك الطفرات.

٢- مكافحة الحشرات :

تقوم بعض الحشرات بدور مهم فى دعم التوازن البيئى ، فى حين يقوم البعض الآخر عدد من المحاصيل الزراعية المهمة ، كما تقوم بعض الحشرات كالبعوض وذباب تسى تسى بنقل عدد من الأمراض المعدية.

ونقدر وتقدر خسارة العالم السنوية من المحـــاصيل الزراعيـــة بســـبب الحشرات بحوالى ١٠ % من المحصول العام ، وهذا يعادل محصول موسم كـــامل فى أحد البلدان الكبرى كأمريكا أو الإتحاد السوفيتى.

جدول رقم (١) : نباتات أحدثت فيها طفرات وراثية ذات مردود إقتصادى جيد والبلدان المستخدمة لتلك الطفرات.

الغلـــة	البلـــد المســـتغلة
شـــعير	ألمانيا ، إنجلترا ، تشيكوسلوفاكيا
فول وفاصوليا	أمريكا
الذرة	الهنـــد
القطن	باكستان ، الصين
الليمون الهندى	أمريكا
بازلاء	بولندا
لفت	كندا
أرز	أمرريكا ، باكستان ، ساحل العاج ، تايلاند ، أندونيسيا ، الصين ، كوريا ، الهند
سمسم	كوريا ، الهند
قصب السكر	الهند
دوار الشمس	روسيا ، إيطاليا ، فرنسا ، ألمانيا ، هنغاريا

كذلك فإن إستخدام المبيدات الكيميائية فى الحد من الحشـــرات أدى فـــى بعض الأحيان إلى تلوث البيئة وتسمم المحاصيل ، وإلى إكتساب بعض الحشـــرات مقاومة لتلك المبيدات مما ذاد فى إستخدامها ، وأدى إلى بروز الحاجـــة لتقنيـــة أخرى للحد من الحشرات. ومن التقنيات المقترحة لذلـــك إســتخدام الحشـــرات العقيمة. وتقضى هذه الطريقة بإنتاج الحشرات بأعداد كبيرة فى حضانات خاصـــة ، ثم تعقم جنسياً باستخدام أشعة جاما ثم تطلق بأعداد كبيرة فى المنطقة المصابـــة ، وعند تزاوجها مع مثيلاتها من الحشرات الموجودة أصلاً فى المنطقة فإنـــها لا تعطى نسلاً.

للتقليل من تكاثر أنواع معينة من الحشرات أمكن إتباع أساليب للتعقيـــم بالإشعاع وبنجاح ملحوظ ، وكانت الطريقة التقليدية فى ذلك تعتمد علـــى تربيـــة أعداد كبيرة من ذكور الحشرات فى المعمل ثم تعقيمها بأشعة جاما وإطلاقها بعـــد ذلك فى الموقع المطلوب ، ويؤدى تنافس الذكور المعقمة مع الذكور الطليقة علـــى التزاوج من الإناث إلى إنخفاض سريع فى أعداد الحشرة فى المكان ، ومن أشـــهر الأمثلة المبكرة فى تطبيق هذا الأسلوب ما جـــرى علـــى ذبابـــة Screworm وموطنها بورتوريكو وجنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية ، والمعروف عـــن تلك الذبابة أنها تضع بيضها فى جروح الحيوانات تتغذى اليرقة على اللحم الحـــى ويمكنها أن تقتل الحيوان إذ لم يتلق العلاج فى الوقت المناسب ، وبعد أن أمكـــن خفض أعداد هذه الحشرة بالتعقيم الإشعاعى فى بواكير الستينيات عادت الذبابـــة مرة أخرى قادمة من المكسيك مما استدعى إعادة المهمة مرة أخـــرى ، وعلـــى ذلك فلقد تم إطلاق نحو ٣٥٠ مليون ذبابة معقمة كل أسبوع مما أدى إلى خفـــض الأعداد المرصودة من حوالى مائة ألف عام ١٩٧٢ إلى نحو ألفيـــن فقـــط عـــام

١٩٨٠ ، وقد قدر مردود حماية القطعان من جراء هذا الخفض بما قيمتـه مائـة مليون دولار ، وإلى ذلك أثبتت الدراسات أن أسلوب المعالجة بالإشـعاع يحقـق أفضل النتائج إذا ما اقترن بوسائل تحكم أخرى ، ومن المؤكد أن تربيـة أعـداد كبيرة من الذباب تعد عملية معقدة ، تشتمل فيما تشـتمل علـى إختيـار الغـذاء المناسب ومعالجة البيض والتحكم فى عملية التشعيع بغـرض توفـير الظـروف المناسبة للتعقيم دون إحداث أضرار مهلكة لجسم الحشـرة ، وتبلـغ الجرعـات الإشعاعية الصادرة عن الكوبلت-٦٠ والشائع إستخدامها فى هذا الغـرض عـدة أضعاف الجرعات القاتلة للإنسان..

ومن اللافت للنظر النجاح الكبير الذى حققته تقنية الحشـرات المعقمـة (SIT) Sterile Insect Technique فى أفريقيا للتخلص من ذبابة التسـى تسى المسببة لمرض النوم والتى كانت سبباً وراء إخلاء ملاييـن الأفدنـة مـن البشر ، كما استخدمت التقنية فى مقاومة أنواع متعددة من البعوض فى الولايـات المتحدة الأمريكية والهند ، كما أوقفت زحف ذبابة الفاكهة المعروفة فـى منطقـة البحر المتوسط على كاليفورنيا بالولايات المتحدة عام ١٩٨٠ ، وغير تلك الأمثلـة توجد التقارير المؤكدة على ضرورة التقنية فى التعامل مع كثير من المتاعب التى تسببها الحشرات المختلفة فى أرجاء العالم ، ومن الجدير بـالذكر أنـه توجـد تقنيات جانبية أخرى تعتمد على التربية الوراثية التى تستهدف إنتاج ذكور معقمة تلقائياً.

ويبين جدول (٢) الحشرات والقوارض التـى اسـتخدمت معـها تقنيـة الحشرات العقيمة فى الماضى والحاضر فى عدد من البلدان.

جدول (٢) بعض الحشرات التى عولجت بتقنية الحشرات العقيمة.

الحشرات	الإستخدام الماضى	الإستخدام الحالى
الذباب الحافر (النغص)	كوراكو ، أمريكا ، المكسيك ، بويرتوريكو	غواتيمالا ، جزر البليار ، ليبيا
ذبابة المتوسط	إيطاليا ، بيرو ، المكسيك	غواتيمالا
ذباب البطيخ	اليابان ، هاواى ، هولندا	اليابان
ذباب البصل	هولندا	هولندا
ذباب الفاكهة المكسيكى	أمريكا ، المكسيك	أمريكا ، المكسيك
ذباب الفاكهة الكرز	سويسرا	
أنواع أخرى من ذباب الفاكهة	-	عدو دول
ذباب تسى تسى	تزانيا نيجيريا	نيجيريا
ذباب تسى تسى (٤ أصناف)	بوركينا فاسو	

٣- حفظ الأغذية :

من سنوات بعيدة عرف الإنسان معالجة الأطعمة بالإشعاع للتخلص من الحشرات والكائنات الدقيقة ، وحديثا ظهرت المؤشرات الدالة الأهمية الخاصة لمثل هذا النوع من المعالجة لتأمين إمدادات العالم من الغذاء.

تقدر نسبة خسارة المواد الغذائية بسبب الفساد الذى تلحقه بها الميكروبات والآفات بحوالى ٢٥% إلى ٣٠%. ومعظم هذه الخسارة تحدث فى البلدان النامية حيث الحاجة الأكبر لهذه ، وهذه المشكلة ليست وليدة الساعة ، بل ترجع إلى آلاف السنين ، وربما منذ زمن آدم عليه السلام. وقد طورت طرق عديدة لحفظ الأغذية منذ زمن بعيد ، ومن أوائل هذه الطرق التى استخدمت التجفيف بالشمس ، والتمليح ، والتدخين ، والتعليب ، والتجميد ، والتسخين ، وإضافة المواد الكيماوية. وآخر هذه الطرق التشعيع حيث يعرض الغذاء لجرعة محددة من الإشعاع الذرى.

ومع أن هذه الطريقة حديثة نسبياً إلا أنها درست بشكل مستفيض لمدة تزيد عن ٤٠ عاماً. وأثبتت الأبحاث أنه ليس هناك آثار ضارة من إستهلاك المواد الغذائية المعالجة بالإشعاع كما تذكر الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وتزيد الوكالة على ذلك فتقول " لقد ثبت أن طريقة حفظ الأغذية بالتشعيع تفضل الطرق البديلة كثراً فى العديد من الأغذية وتعدها أكبر تطبيقات الإشعاع فائدة للإنسان ".

يرجع فساد الطعام قبل بلوغه مائدة تناوله إلى العديد من المسببات، التبرعم كما هو الحال فى ثمرة البطاطس ، والتعفن بسبب البكتيريا كما فى الفاكهة وإفساد الحشرات للقمح والدقيق ، وقد تعامل الإنسان مع تلك المشكلات بوسائل تقليدية متنوعة من أجل حفظ طعامه ، ومن تلك الوسائل التجفيف والتخليل والتمليح والتجميد والتعليب والبسترة والتعقيم واستخدام المضافات الكيميائية مثل النيترات والحفظ بالتدخين واستخدام ثنائى بروميد الإيثيلين ، وإذا كان لكل طريقة مميزاتها فإن النيترات وثانى بروميد الإيثيلين يسجلان تأثيرات فسيولوجية ضارة ، وعلى الجانب الآخر بينت البحوث أن المعالجة بأشعة جاما تؤدى مهام الحفظ بدرجة إقتصادية وآمنة ، وتعد إحلالاً فعالاً ومكملاً للطرق

المتبعة ، وقد ترتب على ذلك إطالة عمر تداول أطعمة معينة من أيام إلى أسـابيع مما سمح بإمهال زمنى مناسب لعمليات النقل والتوزيع.

يناسب التشعيع المؤين للأطعمة استخدام المصادر الرئيسية للإشعاع مـن الأشعة السينية وشعاع المعجل الإلكترونى وأشعة جاما من النظائر المشعة ، وفـى شأن الأخيرة التجريبية كانت فى صالح إستخدام الكوبلت-٦٠ وفترة نصف عمـره ٥,٢٧ سنة وطاقة شعاعى جاما له ١.١٧ مليون إلكترون فولت و ١,٣٣ مليـون إلكترون فولت وتنتجه شركة الطاقة الذرية الكندية بسـعر يبلـغ حوالـى ١,٢٥ دولار للكورى ، وهناك نظير آخر هو السيزيوم-١٣٧ وطاقـة شـعاعه ٠,٦٦٢ مليون إلكترون فولت ويتميز بأن فترة نصف عمره تبلغ ٣٠,٢ سـنة كمـا أنـه متوفر كناتج من نواتج الإنشطار النووى فى المفاعلات.

ومع هذا ، فهناك ثلاثة وثلاثون دولة لديها تجهيزات تشـعيع تجاريـة لمعالجة المنتجات الغذائية ، منها أربع وعشرون دولة تستخدم هـذه التجـهيزات فعلاً فى معالجة المواد الغذائية ومركباتها على نطاق تجارى ، كما أن هناك سـبعاً وثلاثين حكومة سمحت باستخدام نوع أو أكثر مـن المـواد الغذائيـة المعالجـة بالإشعاع. والجدول رقم (٣) يبين بعض تلك الأقطار والمواد الغذائية المصـرح بمعالجتها تجارياً بالإشعاع ، وهناك ثلاثة تطبيقـات مختلفـة لمعالجـة المـواد الغذائية بالإشعاع وهى :

١ - إمكانية إطالة عمر التخزين لمنتجات نباتية كالبطاطا إذا أمكن منعها مـن التبرعم.

٢ - إمكانية تخزين كل من الحبوب والطحين والفواكه الطازجـة والمجففـة لمدد طويلة دون أن تتعرض للغزو من قبل الحشـرات ، ويمكـن قتـل

الحشرات أو – على الأقل – تعقيمها جنسيا لمنعها من التكاثر بمعالجـــة تلك المواد المشعة قبل تخزينها.

٣- يمكن خزن اللحم والدواجن والأسماك والمواد الأخرى الشديدة القابليـــة للتعفن بدون تبريد إذا ما عقم عفن البكتريا والخمائر التى تلوثها طبيعيا ، وتتم الطريقة بتعبئة الطعام فى أوان بلاستيكية، ومن ثم تعرض إلـــى جرعة كبيرة من الاشعاع وحينئذ يمكن حفظ الغذاء لمدة غـير محـــدودة زمنيا دون الحاجة إلى التبريد.

جدول (٣) : أمثلة للمواد الغذائية المصرح بمعالجتها بالإشعاع فى بعض الدول.

الدولة	المواد الغذائية المصرحة
الأرجنتين	البهـــارات ، السبيناغ
الدنمارك ، فنلندا	البهـــأرات
فرنسا	البهارات ، الخضروات الموسمية ، الدجاج بدون عظم
الهنـــد	البهـــارات ، البصل
اليابان	البطاطس
أمريكا	البهـــارات
روسيا	البطاطس ، البصل ، الحبـــوب ، الفواكـــه ، الخضـــروات الطازجة والمجففة ، اللحم ومنتجاته ، الدجاج بدون عظم

ومن ناحية أخرى فإن تشعيع الأغذية إرتاب منه البعض ، فلقد توجسوا من أن الأطعمة قد تصبح مشعة من جراء ذلك ، غير أنه لم يمكن قياس زيادة فى النشاطية الإشعاعية عند مستويات طاقة الجرعة فى الجسيمات الإلكترونية والأشعة السينية وأشعة جاما المطبقة ، وحتى بالتعريض لجرعات أعلى من المطلوبة وجد أن النشاطية الإشعاعية كانت أقل من المستويات الطبيعية لنظير البوتاسيوم-٤٠ أو الكربون-١٤ فى الأغذية ، وقد ظهر تخوف آخر من الكيماويات الضارة التى قد تنتج من جراء تشعيع الأطعمة ، وفى هذا الشأن أظهرت الأبحاث أن كميات نواتج محددة لعملية التحليل الإشعاعى كانت أصغر من تلك المسجلة لهذه النواتج لعمليات الطهى أو التعليب وتماثل المكونات الطبيعية للطعام ، كما لم يظهر دليل يشير إلى ضررها بالصحة ، ومع ذلك فإن العلماء يوصون بمواصلة متابعة النواتج ، وتستمر البحوث بغرض دراسة تأثيرات الإشعاع على القيمة الغذائية للسلع . وتشير البحوث إلى أن الجرعات المتوسطة لا تحدث فقداً محسوساً فى القيمة الغذائية ، وإذا كان قد لوحظ تأثر منتجات غذائية مختلفة بحيث إختلف طعمها ورائحتها أو لونها أو نسيجها إلا أن تلك التبدلات لا تمس الصحة وإنما تقتصر على التجارب والإحساس الشخصى وقد يمكن أيضاً الحيلولة دون حدوث مثل تلك التغيرات بإجراء المعالجات الإشعاعية عند درجات حرارة منخفضة نسبياً.

ويقدر عدد الدول التى أنشأت أعداداً من وحدات التشعيع النصف صناعية والتجريبية بنحو ٧٠ دولة ، ومن السلع التى تجرى عمليات المعالجة الإشعاعية عليها الحبوب والبصل والبطاطس والسمك والفاكهة والتوابل ، وتعد الولايات المتحدة الأمريكية وكندا واليابان وروسيا أنشط الدول المنتجة للمصادر الإشعاعية المستخدمة فى العالم ، ولقد وضعت حدود قصوى للجرعة اللازمة

للأغذية وهى ١٠٠ كيلو راد عدا التوابل الجافة التى يسمح بمعالجتـــها بجرعــة لا تزيد على ٣٠٠٠ كيلو راد ، كما إتفق على ضـــرورة كتابــة لفــظ "مشــعة irradiated" على بطاقة التغليف للدلالة على المعالجة الإشـــعاعية ، وبمــضى الزمن ستنتشر التراخيص بتطبيق الإشعاع لمعالجة اللحوم والأسماك والدواجـــن ومنتجات الألبان ، ولا شك أن قبول الشعوب لمبدأ المعالجة الإشعاعية يتحكم فـــى معدل الإنتشار ، وإذا علمنا أن هناك دول تفقد حوالى نصف إنتاجها مـــن الغــذاء قبل وصوله إلى مائدة الطعام لتبين لنا بوضوح أنه لو كـــانت عمليـــات التشـــعيع بأشعة جاما قد طورت يمتد تطبيقها ليغطى العالم لكان لذلك عطاؤه الكبـــير لحــل مشكلة الجوع فى بعض أرجاء الأرض.

بيان بالجرعة الإشعاعية اللازمة لتحقيق أهداف معينة :

الهدف المطلوب	الجرعة الإشعاعية (بالكيلو راد)
التعقيـــم	٢٠٠٠ - ٦٠٠٠
التخلص من الكائنات الممرضة	٣٠٠ - ٨٠٠
البســـترة	١٠٠ - ١٠٠٠
مقاومة الحشــرات	أقل من ١٠٠
منــع النمــو	أقل من ١٠٠
مقاومة الطفيليات	أقل من ١٠٠

معالجة الأغذية بمصر

نعلم جميعا أن هناك زيادة مطردة في الحاجة إلى كميات أكبر من الغذاء تحت ظروف الحجم المحدود لمصادر الغذاء والصعوبات التي تواجه زيادة انتاج الطعام والإقلال من نسبة الفاقد التي تبلغ في العديد من الدول النامية ودول المنطقة الحارة وشبه الحارة ما يقرب من ٣٠٪ بوجه عام ولكنها تصل في بعض محاصيل الخضر والفاكهة وبعض منتجات اللحوم والأسماك إلى ٦٠٪ لاسباب عدة منها ما يخص التلوث الغذائي والبيئي وبعض طرق الحفظ والتسويق .

ومن ثم كانت هناك ضرورة ملحة لاستخدام طريقة للإقلال من الفاقد في الطعام وتطهيره بالإشعاع لفاعليتها بالإضافة إلى بعض الطرق التقليدية وتجنبا لبعضها الاخر لارتفاع تكلفتها اقتصاديا بالذات بالدول النامية (مثل التجميد) أو تأثيرها السيئ على طبيعة المادة الغذائية .

وهناك اكثر من ٤٠ دولة من دول العالم و لاسيما دول السوق الاروبية وافقت على تشعيع أكثر من أربعين نوعا من الأطعمة المختلفة مثل التوابل والقمح والحبوب والدواجن واللحوم والأسماك والخضروات والفواكهة الطازجة والمجففة وعلف الحيوانات.



صور تبين أثر التشعيع في حفظ بعض الخضر والفاكهة
و أثرالتلف لغير المشعع منها



وعلى ذلك إن تشعيع الاغذية المصرية يسهم في تقديم حل جذري للعديد من المشاكل الصحية التي يواجهها المواطن المصري من تداول لبعض أنواع الأغذية مثل :

- الوجبات الغذائية المطروحة بالشارع المصري .
- اللحوم والأسماك الطازجة والمصنعة .
- الإصابات المعوية وإصابات الالتهاب الكبدي الوبائي.
- القضاء التام على الطفيليات والحشرات والميكروبات.
- الأغذية الطازجة والمصنعة التي تقاوم المعالجة الحرارية المتبعة حاليا .

ومن الدراسات التي قام بها مركز تكنولوجيا الإشعاع للتقييم الاقتصادي لبعض المنتجات المصرية منها (البصل - الثوم - البطاطس - الارز - القمح) للقضاء على الإصابات الحشرية و(الفراولة والأسماك) لإطالة فترة تسويقها وتقديمها طازجة دون ملوثات و(الدواجن -اللحوم -الكمون) لتطهيرها من الميكروبات المرضة . ووجد أن العائد القومي من إقلال الفاقد في تلك الأغذية تزيد عن مليار جنيه مصري ويقلل من الفاقد السنوي بما يعادل ٢٠٪ من قيمة الإنتاج لتلك الأطعمة السنوي بالإضافي إلي العائد الصحي على المستهلك والذي يستخدم الأطعمة خالية من الملوثات الميكروبية والحشرية والفطرية والسموم الناتجة من إفرازاتها بالغذاء .



توابل معالجة بالإشعاع

كما أن تلك التقنية توفر من استخدام الطاقة بالمقارنة بالطرق التقليدية ، كما أنها ليست ذات تكلفة اقتصادية عالية .

وقد تم إصدار الترخيص اللازم لمعالجة المواد الغذائية الجافة مثل التوابل والبصل والثوم وجاري معالجة هذه المنتجات بالمركز لعديد من الشركات والإقبال على هذه الخدمة في تزايد مستمر .

التخلص من الكائنات الممرضة :

يتخلف عن عمليات معالجة مياه شبكات الصرف كميات هائلة من المخلفات الصلبة ، وفى الولايات المتحدة الأمريكية وحدها تبلغ تلك الكميات نحو ستة ملايين طن فى العام الواحد ، والشائع أن تتبع طرق التخلص التقليدية مثل الحرق والدفن فى البحار والطمر فى مواقع خاصة وكذلك إستخدامها فى أغراض زراعية ، وعلى امتداد تلك الطرق جميعها هناك بعض الضرر الناجم عن وجود الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض مثل الطفيليات والفطريات والبكتريا والفيروسات ، ولقد أجريت البحوث فى ألمانيا وفى الولايات المتحدة بغرض السعى لتقليل خطر تلك المشكلة عن طريق تشعيع جاما الصادرة من نظير الكوبلت-٦٠ والسيزيوم-١٣٧ ، إذ أن التخلص من الكائنات الضارة يجعل من الممكن استخدام الحمأة بحرية كسماد ومحسن للتربة خاصة فى الأراضى الصحراوية ، كما أجريت البحرية لاستخدام الحمأة المشععة كأعلاف تكميلية لغذاء الماشية والأغنام ، ولم يظهر دليل على التضرر من هذا كما أن القيمة الغذائية لم تتغير ، علاوة على ذلك فإن دراسات الجدوى الإقتصادية بينت أن تكلفة المعالجة بالإشعاع تبلغ حوالى ٩ دولار أمريكى للطن مقارنة بتكلفة الطمر التى تبلغ نحو ٢٢٥ دولار أمريكى للطن ، إذ أن القدر المستهلك من الطاقة باستخدام أشعة جاما أقل كثيراً منه باستخدام التجفيف بالتسخين.

الطفرات الغذائية :

يمكن إحداث تغييرات مفيدة فى المنتجات الزراعية من خلال الطفرات الناشئة عن الإشعاع ، حيث يتم تشعيع بذور أو أجزاء النبات بالجسيمات

المشحونة أو بالأشعة السينية أو أشعة جاما أو بالنيوترونات أو باستخدام المطفرات الكيميائية ، ولقد تم بالفعل فى العديد من بلدان العالم التوصل إلى عدد كبير من أنواع المحاصيل المنتجة بتأثيرات وراثية ، وقد أنجز علم تربية المحاصيل الكثير على مدى سنوات عديدة ، إذ يتم إختيار النباتات الغير معتادة بسبب حدوث طفرات بها لتهجينها مع غيرها للتوصل إلى أنواع جديدة ثابتة وقابلة للتكاثر ، ومع ذلك فإن الحاجة تظل قائمة للتوصل إلى التنوع المنشود.

وغنى عن القول أن الهدف دائماً هو الحصول على غلة أكثر بقيمة غذائية أعلى ومقدرة أفضل على مقاومة الأمراض والتكيف مع البيئات الجديدة بما فى ذلك إرتفاع أو إنخفاض درجة حرارة الجو ، فبزراعة الأنواع الجديدة تتفتح مصادر جديدة للدخل ويرتفع المستوى العام للصحة ومقاومة الأمراض.

ويقدر أن أعداد أنواع النباتات الغذائية التى تم تطويرها بالطفرات تبلغ فى غلة الأرز ٢٨ نوعاً وفى الشعير ٢٥ نوعاً وفى القمح ١٢ نوعاً وفى قصب السكر ٨ أنواع وفى فول الصويا ٦ أنواع ، كما تم التوصل إلى أنواع مطفرة من نباتات الزينة والأزهار مما عاد على المزارعين الصغار والمهتمين بزراعة الحدائق بدخل وفير ، وكان هذا ملحوظاً بشكل خاص فى الدول النامية ، ومن نافلة القول بأن الوكالة الدولية للطاقة الذرية تنظر إلى قضية الغذاء على أنها تستحق المرتبة الأعلى فى الإهتمام والمؤازرة فى ضوء الإنفجار السكانى فى العالم.



وحدة تشعيع الأغذية والأدوية بهيئة الطاقة الذرية



استخدام التقنيات النووية في الصناعة

هنـــاك العديد من التطبيقات المفيدة للإشـــعاع والنظـــائر المشـــعة فـــى الصناعة، فهى تستخدم اليوم فى كل الصناعات تقريباً ، فالنظائر التتبعية تســتعمل على نطاق واسع فى مراقبة العمليات مثل التهوية والمزج والجريان والتســـرب ، وهناك العديد من الأجهزة التى تستخدم الإشعاع فى قياس سمك وكثافة وأطـــوال المنتجات خلال عمليات التصنيع ، كما تستخدم النظائر المشعة كمصـــادر للطاقـــة كما فى المنابع الضوئية المستخدمة فى بعـــض الســـاعات ، وكذلـــك البطاريـــات الذرية. وتستخدم كذلك فى أجهزة الكشف عن الدخان فـــى المصـــانع والمحـــال التجارية والمساكن ، ويستخدم الإشعاع فى تحسين خصائص الكثير مـــن المـــواد بمجرد تعريضها له.

١- متابعة العمليات باستخدام النظائر المشعة :

تعتمد هذه الطريقة على إضافة كميات صغيرة من النظائر المشـــعة إلـــى المواد الخاضعة لعملية ما ، أو قذف تلك المواد بالإشعاع لتصبح مشعة فى ذاتـــها ، ثم يتتبع سير إشعاع هذه النظائر عن بعد بواسطة الأجهزة المناسبة.

وهناك شريحة عريضة من الصناعات المختلفة التـــى تســـتخدم تقنيـــة النظائر التتبعية. ومن هذه الصناعات صناعة الـــورق ، والحديـــد ، والنفـــط ، والغاز الطبيعى ، والفحم الحجرى ، والبتروكيماويات ، والإســـمنت ، والزجـــاج ، ومواد البناء ، ومعالجة الخامات وغيرها.

فالإشعاع يستخدم فى مراقبة بعض العمليات لمعرفة معدل الجريان وسرعته ، عمليات مزج كل من السوائل والغازات والمواد الصلبة لمتابعة عملية المزج ومعرفة مدتها ، وكيفية الحصول على المزج الأمثل.

ففى مصانع الحديد مثلا تستخدم النظائر المشعة فى قياس معدل جريان المنصهر بأنواعه فى الأنابيب. أما فى شركات الكيمياء فتستخدم النظائر المشعة فى قياس مستوى المواد فى الخزانات ، وفى إستشعار تصلب المادة فى المفاعل. كما تستخدم فى مصانع الملح لقياس تركيزه فى الماء ، وفى قياس معدل الجريان فى الأنابيب ، وفى قياس الكثافة والوزن خلال الإنتاج ، كما يستخدم فى قياس نسبة المعادن فى المعدات التى تصل الى المصانع للتأكد من جودتها ، وفى مصانع الصودا الكاوية تستخدم النظائر المشعة لقياس درجة الحموضة والتحكم الآلى فيها. أما فى شركات البترول فتستخدم النظائر المشعة فى قياس مستوى المواد فى الخزانات.

وأيضاً تستعمل النظائر المشعة فى مجالات الصيانة للكشف عن تسرب الغازات والسوائل ، وفى البحث عن مواطن العطل ، وفى دراسة ظاهرة التآكل أو البلى ، وتستخدم أيضاً فى تخفيف الإحتكاك. ولقد أمكن توفير الكثير من المال والوقت – على سبيل المثال – فى دراسة تآكل أجزاء الماكينات وذلك بقذفها بالنيوترونات لتصبح مشعة بذاتها ثم معرفة ما يتآكل من سطوحها عن طريق قياس شدة النشاط الإشعاعى فى الزيوت المستخدمة فيها.

وعموماً يمكن القول إن تقنية النظائر المشعة تستخدم اليوم فى مختلف الصناعات ، وفى مجالات متنوعة ، لرفع كفاءة العمليات ، ولتوفير كل من الوقت

والجهد والمواد الأولية ، ولتقليل الزمن الضائع فـــى إصـــلاح عطـــل المعـــدات، وللتمكين من تطوير العمل.

٢- الأجهـــزة ذات النظائر المشعة :

تستعمل مقاييس الثخانة والكثافة ، والمستوى والأطـــوال ذات النظـــائر المشعة فى صناعة كل من الورق والبلاستيك والمعادن ، حيث يتم فحـــص هـــذه المواد عن بعد باستخدام الإشعاع دون أن يكون هناك تماس معها. وهـــذه مـــن مميزات الطريقة ، وخصوصاً عند إرتفاع درجة حرارة المواد أو الضغـــط الـــذى عليها، أو عند وجود مواد تسبب التآكل.

يستخدم مقياس الرطوبة النيوترونـــى فـــى إنتـــاج كـــل مـــن الزجـــاج والخرسانة، وذلك لقياس نسب الرطوبة فى الرمل ، كما طور مصدر للنيوترونـــات للكشف عن المتفجرات حتى ولو كانت صغيرة ، وذلك بقياس الأشعة المنبعثة مـــن ذرات النيتروجين عند أسرها للنيوترونات ، بسبب وجود النيتروجين فى جميـــع أنواع المتفجرات ، ومن المزمع استخدام هذا الجهاز فى فحص حقائب المسافرين فى المطارات.

إن الأجهزة الحديثة للكشف عن الدخان (والمستخدمة على نطاق واســـع فى المصانع والمحلات التجارية والمكاتب والفنادق والمساكن) مبنية أساساً علـــى الإشعاع المنبعث من نظير مشع صغير مثل الثوريوم ، حيث تولد جســـيمات ألفـــا المنبعثة من هذا المصدر تياراً كهربياً مستمراً فى حجرة تأمين صغيرة ، فتمســـك ذرات الدخان عند وجودها بالإلكترونات المتولـــدة فـــى حجـــرة التـــأمين نتيجـــة جسيمات ألفا مما يقلل التيار الكهربى ، وهذا التغير فى التيار هو الـــذى يصـــدر

إنذار وجود الدخان. وتمتاز هذه الأجهزة بحساسيتها العاليـــة ، فـــهى تســـتطيع الكشف عن كميات صغيرة جدا من الدخان ، وقـــد بـــدأ حديثـــا إســـتخدام غـــاز (الكربتون-٨٥) المشع فى هذه الأجهزة لكونه غازا يزول بسرعة فى حالة تلـــف الجهاز ، ولا يضر بالصحة.

والمينا فى بعض أنواع الساعات تكون مضيئة ، ومصدر الإضـــاءة هـــو كمية ضئيلة من نظير مشع (كالراديوم-٢٢٦) الذى يخلط مع مـــادة وميضيـــة ، وقد استبدل هذا المصدر الطبيعى المشع بمصادر مصنعة مثل التريتيوم حيث تقـــل المخاطر الإشعاعية إلى الصفر تقريبا. كما تستخدم مثل هذه المصادر فى أجـــهزة الملاحة وفى إشارات مصادر النجاة من الحريق ، وفى قاعات الإجتماعات.

وتستعمل مصادر مشعة أكثر شدة بكثير لصنع بطاريات ذرية تدوم طويلاً ، حيث أمكن الحصول على بطاريات ذات قدرات فائقة (تزيد على مئات الواطـــات) ، وتعمل على مدى سنين عديدة دون الحاجة لأية صيانة ، وجدت لـــها تطبيقـــات كثيرة فهى تركب مثلاً فى الأقمار الصناعية ، وتقوم محطات الأرصاد الجوية فـــى المناطق النائية ببث المعلومات التى تجمعها أخذة الطاقة اللازمة لعملها من تلـــك البطاريات الذرية ، وكذلك تستخدم بطاريات خفيفة الوزن (٣٠-١٠٠ جرام) مـــن هذا النوع فى تغذية منظم نبضات القلب الذرى الذى يزرع فـــى الجســـم وليبقـــى مدى الحياة فى جسم المريض.

ولقد كان للتطور الذى حدث ، أجهزة قياس الإشعاع الأثر الأكـــبر فـــى إتساع نطاق استخدام الإشعاع فى الص عة وفى غيرها مـــن المجـــالات. ومـــن مزايا هذه التقنية:

١ - إمكانية إجراء القياس دون تماس مباشر مــــع المــــادة المقيســـة ، لأن الإشعاع له القدرة على إختراق المواد.

٢ - إمكانية إجراء القياس أثناء التشغيل وحركة المواد كما أن القياس غــــير متلف للمواد.

٣ - ثبات مصادر الأشعة ، وعدم الحاجة إلا الى القليل من الصيانة.

٤ - إنخفاض نسبة تكلفة أجهزة الإشعاع مقارنة بفوائد إستخدامها.

٣ - التصويــــر الإشـــــعاعى :

إن طريقة التصوير بالأشـــــعة الســـينية أو أشـــعة جامـــا مـــن الطـــرق المستخدمة بشكل رتيب فى الفحوصات غير المتلفة مثل فحص كـــل مـــن اللحـــام والسبائك والماكينات المركبة مثل محركات الطائرات. وتمتاز المصادر المشـــعة المستخدمة فى التصوير بعدم حاجتها لمصدر كهربائى ، كما أن صغـــر حجمـــها يمكن من استخدامها فى الأجزاء أو الماكينات التى لا يمكن فحصـــــها باســــتخدام أنابيب الأشعة السينية. ومن التطورات الحديثة فى هذا المجـــال إســـتخدام آلات تصوير تستطيع عمل صورة مباشرة بالأشـــعة الســـينية ، أو أشـــعة جامـــا دون الحاجة إلى استخدام الفيلم الفوتوغرافى ، ويســــتخدم الحاســـب الآلـــى لتكويـــن الصورة المتكاملة. وميزة هذه الطريقة أنها تعطى الصورة بشـــكل مباشـــر دون الحاجة إلى المعالجة الكيميائية.

إن التصوير بالأشعة السنية أو أشعة جاما يعتمد على إمتصـــــاص هـــذه الأشعة ، فكلما كانت المادة أكثر كثافة وسمكاً ، كانت أكثر إمتصاصاً للأشعة ، أمـا التصوير النيوترونى فيعتمد على مبدأ مختلف ، فالنيوترونات تتفاعل مــــع نـــوى

الذرات ، وتتفاوت درجة تفاعلها (سواء بالأسر أو بالإستطارة المرنـــة أو غــير المرنة) من عنصر لأخر ، فبعض هذه العناصر تتفاعل مع النيوترونات البطيئـــة بشدة مما يمكن الكشف عنها بسهولة ، بواسطة التصوير بالنيوترونات البطيئـــة حيث يمكن الحصول على مصادر النيوترونات للتصوير من المفـــاعلات الذريـــة ومن المسرعات ، ومن مصادر النيوترونات المغلقة مثل نظـــائر (الكـــالفورنيوم-٢٥٢) و (الأمريسيوم-٢٤١ / بريليوم-٩) ، ومن التطبيقات المعتادة للتصويـــر بالنيوترونات فحص وقود المفاعلات الذرية ، وفحص التأكل فى أجزاء الطائرات.

إن وجود النظائر المشعة فى العينات تمكن من معرفـــة توزيعـــها بـــأخذ صورة "جاما" لها بتقنية إشعاعية تدعى "التصوير الإشعاعى الذاتـــى" وتســـتعمل بكثرة فى أبحاث الكائنات الحية (البيولوجيى) وفى دراسة المعادن.

٤- الإشعاع الذرى والتصنيع :

تستطيع الأشعة تحريض بعض التفـــاعلات الكيميائيـــة ، فيمكـــن مثـــلاً إستعمالها فى صناعة البلاستيك أو فى تطعيم مواد أخرى بالبلاستيك فى تصنيـــع بعض البوليمرات المتصالبة الروابط بشكل يمكنها من التقلص بالتسخين ، وهـــى خاصية مرغوبة فى بعض أغراض التغليف. ويستعمل التشعيع بحزم إلكترونيـــة فى معالجة السطوح فى صناعة كل من الخشب والورق على نطاق واسع.

ويزداد معدل إنتاج الأسلاك والخطوط السلكية (الكـــابلات) ذات العـــازل المصنوع من مادة كلوريد الفنيل المتعددة (Polyvinylchlaride) المتصـــالب الروابط بتأثير الإشعاع ، يوماً بعد يوم ، ولهذا النوع من العوازل مقاومة كبـــيرة لكل من الحرارة والكيماويات والكهرباء ، ولهذا يمكـــن تقليـــل ســـمكه ، وهـــذه

الأسلاك تستخدم حاليا فى صناعة العربات ، وفى الإتصالات ، وفى صناعة ريـادة الفضاء ، وفى أجهزة المنزل الكهربائية. وهناك تطبيقات أخرى للإشـعاع فـى صناعات أخرى مثل المطاط حيث يستخدم فى فلكنة (Volcanization) صفـائح المطاط المستخدمة فى صنع عجلات السيارات ، والمقصود بفلكنة المطـاط هـو ربط سلاسله الكيماوية بعضها ببعض.

لقد ابتدئ فى بعض المدن إستخدام الإشعاع بدلاً من الطرق الكيميائيـة (كاستخدام الكلور) فى معالجة فضلات الإنسان (ميـاه المجـارى) ثـم اسـتخدام الفضلات المعالجة بالإشعاع سماداً للزراعة ، وفى تطور حديث وجد أن بالإمكـان إستخدام الإشعاع فى معالجة غازات إحتراق الوقود التقليدى للتقليل مـن تلـوث البيئة.

إن إطلاق أكاسيد كل من النيتروجين والكبريت (SO_2 , NO_x) إلـى الجو من محطات الطاقة ومن المنشآت الصناعية المستخدمة للفحم الحجـرى أو النفط يعد أهم مصادر تلوث البيئة وحدوث ظاهرة الصوب الزجاجيـة والأمطـار الحامضية وغيرها ، وتعالج غازات نواتـج الإحـتراق تلـك باسـتخدام حزمـة إلكترونية تزيل بكفاءة أكاسيد كل من النيتروجين والكبريت فى مرحلـة واحـدة محولة هذه الغازات السامة إلى نواتج ذات قيمة تجارية كأسـمدة تسـتخدم فـى تحسين التربة الزراعية. وهذه هى الطريقة البديلة للطريقة الحالية فى معالجـة الغاز كيميائياً لتحويله إلى نواتج غير ذات فائدة تجارية ، بل وتشكل عبئـاً فـى التخلص منها كفضلات.

٥- تخليق المواد الكيميائية :

يدرس علم الكيمياء الإشعاعية تأثير الإشعاع عالى الطاقة علـــى المـــادة مع الإهتمام الخاص بالتفاعلات الكيميائية ، ومن أمثلة ذلك تفـــاعلات الأيـــون – جزىء والتقاط الإلكترون الذى يؤدى إلى كسر اللاقـــط وانتقـــال الشـــحنة دون تفاعل كيميائى عندما يصطدم أيون بجزئ ، وعلى الرغم من أن هناك العديد مـــن التفاعلات التى تم شرحها فى المعمل إلا أن القليل منها فقط أخذ طريقه تســـويقيا ، ومن أشهر الأمثلة إنتاج بروميد الإيثيل وهو ســـائل عضـــوى قـــابل للتطـــاير والمستخدم كمركب وسيط فى تخليق المواد العضويـــة ، كمـــا أن أشـــعة جامـــا الصادرة من نظير الكوبلت-٦٠ تعمل كعامل مساعد فى ربط بروميد الأيدروجيـــن مع الإيثيلين.

٦- تحسين خواص الألياف الخشبية :

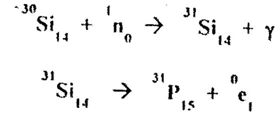
تتأثر العديد من خواص البوليمرات المختلفة ومنها البولى إيثيلين إذا مـــا تعرضت تلك البوليمرات للإشعاع الإليكترونى أو لأشعة جامـــا ، إذ تتكـــون تلـــك المواد من سلاسل طويلة متوازية من الجزيئات وعند تعرضها للإشـــعاع تـــترابط تلك السلاسل بعملية الإرتباط المتقاطع Cross - linking ، وبتعرض البولـــى إيثيلين للإشعاع تزداد بذلك قدرته على مقاومة الحرارة ويمكن إستخدامه كتكســـية عازلة جيدة للأسلاك والكابلات الكهربائية.

ومن ناحية أخرى فإن الأخشاب التى ســـتتعرض بالإســـتعمال لظـــروف تعرية شديدة تجرى معالجتها تجاريا بأشعة جاما ، حيث يتم غمـــر الخشـــب فـــى لدائن ثم يمرر عبر مجال لأشعة جاما التى تغير من الـــتركيب الجزيئـــى للدائـــن وبذلك يصبح السطح غير قابل للخدش أو الإحتراق ، وفى فرنساتم حفـــظ قطـــع

فنية وأثرية من الخشب والحجر بغمر القطعة فى مونمر سائل ثم تعريضها لأشعة جاما ليتبلمر المونمر إلى راتنج صلب.

٧- إحداث تحولات فى أشباه الموصلات :

تستخدم أشباه الموصلات فى الأجهزة الكهربانية والإلكترونية الحديثة ، وتعتمد فى أداء مهامها على وجود كميات صغيرة من الشوائب مثل الفوسفور فى عنصر البلورة الأصلى وهو السليكون ، وتسمى عملية إضافة الشوائب Doping ، ويمكن إنجاز تلك العملية لبعض أنواع أشباه الموصلات باستخدام التشعيع بالنيوترونات الذى يؤدى إلى تكون نظير ينحل إلى المادة المطلوبة ، والعملية فى مجملها بسيطة ، حيث توضع بلورة سليكون نقية فى المفاعل التجريبى أو البحثى الذى تبلغ قوته عدداً من ملايين الوات ، ثم يتم تشعيع العينة بشعاع نيوترونات بطيئ جرت معايرته مسبقا لأداء اللازم لمدة زمنية معينة ، فيؤدى ذلك إلى تحول أحد نظائر السليكون إلى نظير فوسفور ثابت عبلا التفاعلات التالية :



$$^{30}Si_{14} + {}^{1}n_{0} \rightarrow {}^{31}Si_{14} + \gamma$$

$$^{31}Si_{14} \rightarrow {}^{31}P_{15} + {}^{0}e_{1}$$

فنجد أن نسبة إنتشار السليكون-٣٠ هى ٣.١% وفترة نصف العمر للنظير سليكون-٣١ هى ٢.٦ ساعة ، وبع التشعيع تصبح مقاومة السليكون عالية جداً نتيجة التعرض للمكون النيوترونى السريع فى الشعاع ، وهناك حاجة للمعالجة الحرارية قبل التصنيع لتفادى بعض العيوب.

ويعتقد أن أهم تطبيق لتقنية التحويل النيوتروني هذه هو تصنيع أشباه الموصلات المنعمة ذات الجهد والتيار العالي ، وتتميز تلك التقنية عن سابقاتها إمكانها توفير مقاومة منتظمة على إمتداد مساحة الجهاز الكبيرة ، ويصل مجمل الإنتاج السنوي لهذه المنتجات إلى ما يزيد عن ٥٠ طن مما يشكل سبباً حقيقياً لزيادة دخل الهيئات القائمة على إجراء عمليات التشعيع ، ويفترض أن تلك التقنية ستتشعب في تطبيقاتها في المستقبل لتتعامل مع الأجهزة المنزلية والسيارات ، وقد إمتدت لتتعامل مع مواد أخرى غير السليكون مثل الجرمانيوم والزرنيخ والجاليوم.

التقنيات النووية والبحث العلمي

يمكن تقسيم البحوث العلمية إلى قسمين رئيسيين هما : البحوث العلمية الأساسية ، والبحوث العلمية التطبيقية ، والأولى تهدف إلى التعرف على سنن الله في هذا الكون الفسيح من أصغر شيئ وهي الذرات ، وحتى أكبر شيئ وهي المجرات. وليس بالضرورة أن يكون لهذه البحوث تطبيقات مرئية تهدف إليها ، ولكن التعرف على السنن الكونية غالباً ما يفتح الباب على مصراعيه لتطبيقات عملية لم تكن في الحسبان. أما البحوث التطبيقية فهي التي تهدف إلى حل بعض المشاكل التقنية أو تطوير تقنيات جديدة لأغراض محددة ، وسنتحدث عن هذين القسمين بإيجاز كما يلي :

١- استخدام التقنيات النووية في البحوث العلمية الأساسية

لقد كان للإشعاع والنظائر المشعة دور مهم فـــى الإكتشـــافات العلميـــة الحديثة ، وفى تقدم العلم. ومن الإنصاف القول أن التطورات الحديثة فـــى علـــم الوراثة لم تكن لتبلغ ما بلغته لولا استعمال النظائر المشعة عى نطاق واسع.

يمكن تصنيع النظائر المشعة فى مركبات كيميائية وبهذا تصبح مُرقمــــة أو مُعلمة ، وعن طريق هذه النظائر المشعة يمكن متابعة التفاعلات ومعرفة مــــا يحدث للمركبات من تحلل أو تسرب للنواتج مثلاً ، وهذه المعلومـــات ذات فـــائدة كبيرة فى البحوث المتعلقة بالكائنات الحية (البيولوجيـــة) وفـــى غيرهـــا ، فلقـــد أسهمت علوم الأحياء الإشعاعية فى تطوير علم الوراثـــة ، وقـــد كـــان للنظـــائر التتبعية دور فى إثبات صحة نموذج واتسون كرك حول تركيب الـــ DNA وهى المادة الحاملة للصفات الوراثية ، كما تستخدم النظائر المشـــعة فـــى الدراســـات المعقدة المتعلقة بعمل المخ.

ويستخدم الإشعاع على نطاق واسع فى علم الفيزيـــاء وخصوصـــا فـــى مجالى الفيزياء النووية والفيزياء الذرية ، ففى الفيزياء النووية يستخدم الإشـــعاع فى التعرف على ماهية المادة وذلك بالبحث عن المركبات الأساسية غير القابلـــة للإنقسام ، والتى تتركب منها المادة ، فبعـــد اكتشـــاف الـــذرة ومكوناتـــها مـــن الإلكترونات والبروتونات والنيوترونـــات إســـتطاع العلمـــاء - بعـــد تطويرهـــم للمسرعات النووية ذات الطاقة العالية – تفكيـــك البروتونـــات والنيوترونـــات ، وتمكنوا من اكتشاف جسيمات نووية جديدة ، إكتشفوا منـــها إلـــى الآن حوالـــى ٣٠٠ نوع ، ولا يزال العلماء يجدون كل عام عدة جسيمات جديدة أخرى.

أما في مجال الفيزياء الذرية فلا تزال البحوث جارية منذ زمن في التعرف على ترتيب الإلكترونات حول نوى الذرات المختلفة للعناصر والمركبات، وذلك باستخدام الإشعاع ، ولهذه البحوث تطبيقات علمية وعملية كثيرة.

ويمكن القول أن الإشعاع قد دخل جميع المجالات العلمية تقريباً ، وهو يعد من الأدوات العلمية التي لا غنى عنها في مجال البحث العلمي.

٢- استخدام التقنيات النووية في البحوث التطبيقية

إن الحديث عن البحوث التطبيقية للإشعاع متداخل مع إستخدامات الإشعاع في المجالات الطبية والزراعية والصناعية المختلفة والتي تحدثنا عنها فيما سبق ، لهذا سوف نركز الحديث هنا في مجال البيئة وعلوم الأرض.

وتلوث البيئة من أحد أهم مشاكل القرن الحادي والعشرين التي لم تعد تشغل بال العلماء فحسب ، بل أصبحت هاجس العامة في الكثير من البلدان المتقدمة صناعياً ، وتكون لها أحزاب خاصة بها. وتحتاج هذه المشكلة إلى معالجة جذرية قبل أن يستفحل أمرها ، ولا بد في ذلك من تعرف ثلاثة أمور متعلقة بالمشكلة :

١- المقادير الدقيقة للتلوث وأماكن حدوثها.

٢- أسباب التلوث هل هي مباشرة أو غير مباشرة.

٣- المعالجة المناسبة لتجنب التلوث دون إحداث تأثيرات غير مرغوب فيها.

ويستطيع الإشعاع الإجابة عن السؤالين الأولين على الأقل فى الكثير من الأحيان ، فإمكانية الكشف عن الآثار القليلة من النظائر المشعة ، واقتفاء مسارها يجعلها أدوات مثالية لتتبع التلوث فى كل من الهواء والماء والتربة ، كما سنشرح فى الفصول التالية من هذا الكتاب.

يستخدم الإشعاع على نطاق واسع فى مجال علوم الأرض فى دراسة فيزيائية وكيميائية الغلاف الصخرى للأرض. وفى الطبيعة تسعة عشر عنصراً لها خمسة وأربعون نظيراً مشعاً ، وهذه النظائر المشعة طبيعياً موجودة فى الخامات المعدنية وفى صخور صخور القشرة الأرضية ، ويمكن استخدامها فى تقدير العمر المطلق للصخور وللأرض ، وفى معرفة مواصفات الخامات. ومن هذه العناصر اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم ، وتستخدم تقنية قياس الإشعاع للنظائر الطبيعية المشعة بشكل رتيب فى تقدير كميات الخامات المعدنية.

وتستخدم بعض النظائر المشعة طبيعياً فى تقددير أعمار العينات ، فمثلاً يتكون النظير المشع "الكربون-١٤" باستمرار فى الجو من جراء تفاعل النيوترونات فى الأشعة الكونية مع نيتروجين طبقات الجو العليا حسب المعادلة التالية :



$$^{14}N + n \longrightarrow {}^{14}C + p$$

وهذا الكربون المشع - والذى عمر نصفه ٥٧٣٠ سنة - يصل إلى طبقات الجو السفلى ، وتأخذه النباتات الحية على شكل ثانى أكسيد الكربون فى عملية التمثيل الضوئى. وبعد موت النبات يتوقف أخذ العنصر ويبدأ "الكربون-١٤" فى التحلل ، ولهذا كلما امتد الزمن بالنبات الميت كلما قلت إشعاعية النظير

المشع "الكربون-١٤" فيه ، ومن هذا يمكن قياس الفترة الزمنية التى انقضت على موت النبات التى تتراوح بين ألف وأربعة آلاف سنة. وهذه الطريقة تستخدم بشكل واسع فى تقدير أعمار التربة ، والترسبات البحرية، وأصداف الحيوانات ، والأشجار ، والمواقع الأثرية ، والعظام ، والأقمشة. وهذه المعلومات لا تقدر بثمن بالنسبة لكل من علماء الأرض وعلماء الآثار على حد سواء ، وفى تجارة التحفيات واللوحات والآثار الفنية.

أولاً - فى مجال الزراعة :

١- استخدامات النظائر المشعة فى بحث ودراسات تغذية النبات .

استخدمت النظائر المشعة فى الدراسات الخاصة بامتصاص العناصر المغذية (الكبرى والصغرى) ، وكيفية امتصاصها بواسطة جذور وأوراق النبات ، بذلك أمكن تحديد نظريات الامتصاص والعوامل المؤثرة عليه مما يساعد على تقدير كفاءة الإضافات السمادية ومعالجة أعراض نقص العناصر ، والتى تؤثر بدرجة كبيرة على الإنتاجية ، وبالتالى على اقتصاديات الإنتاج الزراعى ككل .

ومن أمثلة النظائر التى أمكن استخدامها فى تجارب تغذية النبات ^{45}Ca, ^{89}Sr, ^{32}P, ^{42}K, ^{86}R, ^{22}Na (للعناصر الكبرى) ، ^{44}Mo, ^{65}Nz, ^{54}Mn, ^{59}Fe (للعناصر الصغرى) ، وعادة تستخدم فى تجارب الامتصاص نظائر مشعة ذات نشاط إشعاعى عالٍ نسبياً حتى يمكن عده بكفاءة عالية خاصة فى التجارب قصيرة المدة مثل تجارب الجذور المفصولة (ينصح باستخدام حوالى ١٠ ميكروكورى/لتر - لتعطى مستوى عدد مناسب) ، بل قد يكون من الضرورى استخدام مستويات أعلى من النظير المشع ، كما فى تجارب الامتصاص على الأوراق أو الجذور المفصولة (هى تجارب قصيرة المدة من ٥-٢٠ دقيقة) ، ويجب ملاحظة التأثيرات الضارة للنشاط الإشعاعى إذا طالت فترة التجربة عن ذلك نتيجة التعرض للإشعاع، وفى حالة التجارب الطويلة المدى يكفى أن يكون النشاط الإشعاعى من ١-٢ ميكروكورى/لتر فى معظم الحالات .

ويمكن أيضاً باستخدام النظائر دراسة الامتصاص والانتقال والتوزيع النسبى للعنصر بالنبات وتقدير كفاءة الاستخدامات للعنصر المضاف من المركب المرقم أو غير المرقم للتربة أو إلى قياس الخواص الطبيعية والكيميائية للعناصر خاصة قابليتها للامتصاص بواسطة الجذور والجزء المأخوذ من السماد فمثلاً فى حالة إضافة سماد فوسفور مرقم بالنظير المشع فوسفور-٣٢ من السماد المضاف ، يتضح من المعادلة الآتية :

$$\text{النسبة المئوية للفوسفور المأخوذ من السماد} = \frac{\text{النشاط الإشعاعى النوعى فى النبات}}{\text{النشاط الإشعاعى النوعى فى التربة}} \times ١٠٠$$

ويمكن حساب كفاءة الاستخدام أو النسب المئوية للاستفادة من المعادلة الآتية :

النسبة المئوية للاستفادة من السماد = $\frac{\text{كمية الفوسفور فى النباتات المأخوذة من التربة}}{\text{الكمية الكلية للسماد المضاف}} \times ١٠٠$

ويمكن إجراء نفس العمليات الحسابية لأجزاء النبات المختلفة وبالتالى دراسة كيفية توزيع الفوسفور الممتص على أجزاء النبات Distribution Pattern حيث :

معامل التوزيع = $\frac{\text{كمية الفوسفور فى الساق (shoot)}}{\text{كمية الفوسفور فى الجذور (root)}} \times ١٠٠$

عموماً يمكن تلخيص أهمية استخدام النظائر فى ترقيم العناصر والمركبات المضافة لنظام (نبات-تربة) فيما يلى :

١- إمكانية اختيار أفضل طرق لإضافة السماد وأكثرها فعالية .

٢- تحديد أنسب مواعيد للإضافة والأوقات الحرجة بالنسبة للنبات .

٣- اختيار أفضل المعدلات السمادية وأكثرها ملاءمة لكل محصول .

٤- اختيار أفضل المركبات أو الصور من العناصر المغذية ، وأكثرها ملاءمة لطبيعة الأرض والمحصول .

٥- تقدير ودراسة الأثر المتبقى من العناصر والمركبات المضافة .

٦- دراسة تفاعلات وتداخلات العناصر المختلفة بالتربة ، وأثرها المتبادل على امتصاص النبات لهذه العناصر مثل التأثير المشجع للنيتروجين على الفوسفور وتضاد الحديد مع المنجنيز والفوسفور مع الزنك ، والحديد مع الفوسفور .

٧- دراسة نمو وتوزيع المجموع الجذرى فى التربة .

وقد أمكن باستخدام النظائر المشعة المرقمة للأسمدة الورقية دراسة كيفية امتصاص الأوراق للعناصر المغذية وطريقة انتقالها وتوزيعها داخل النبات حيث تعادل الاستفادة ٢٠ مثل قدرة الاستفادة من الفوسفور المضاف للتربة .

ب- كيمياء عناصر التربة وتفاعلاتها المؤثرة على امتصاص النبات :

من المعلوم أن جزءاً صغيراً من كمية العنصر الكلى الموجود فى التربة يكون صالحاً للامتصاص بالنبات ، وهذا الجزء القابل للاستفادة قد يتعرض لتغيرات كثيرة تتوقف على ظروف التربة من الأس الهيدروجينى (قلوية أو حموضة) وأكسدة أو اختزال وابتلال أو جفاف ، ولقد استخدمت النظائر المشعة بشكل مكثف لدراسة وقياس الكميات القابلة للتبادل

من العناصر فى التربة ومعدلات تبادلها وحركتها وقابليتها للاستفادة ، وكذلك دراسة الميكانيكية التى يمتص بها العنصر بواسطة النبات .

١- العناصر القابلة للتبادل :

يمكن قياس الكمية القابلة للتبادل من عنصر ما ، وذلك بملاحظة التغير فى النسبة النظائرية للعنصر المدروس والمضاف لمعلق التربة ، وإذا كانت الطريقة العادية التى تستخدم فى مثل هذه الدراسات تستلزم إزاحة هذا الجزء بإضافة محاليل ملحية مختلفة التركيز فإن الطريقة المتبعة باستخدام النظائر تسمح بالاتزان مع محلول مكوناته مماثلة لمحلول التربة العادى مما يعطى موضوعية ودقة لقياس العنصر القابل للتبادل فى محلول التربة .

وفى عام ١٩٥٤ قام Blume & Smith بقياس الكالسيوم المتبادل ؛ وذلك بإضافة محلول يحتوى على كميات من الكالسيوم-٤٥ والكالسيوم العادى إلى التربة وكان المحلول يحتوى على ١٠٠ ملجم/لتر من الكالسيوم على صورة $Ca(NO_3)_2$ يضاف لها ٨٠٠ ميكروكورى الكالسيوم-٤٥ لكل جرام كالسيوم ، ولقد لزم ٥٠ سم٣ من المحلول لإضافتها إلى ٢٥ جم من التربة ورجت لمدة ٣ ساعات حتى حدوث الاتزان ثم أخذ المحلول ورشح وأخذ الرائق ، وتم قياس النشاط النوعى Activity فيه (ميكروكورى Ca-45/جرام من الكالسيوم) وحسبت كمية الكالسيوم المتبادل من المعادلة التالية :

$$\text{العنصر المتبادل} = \frac{\text{العنصر المضاف} \times \text{النشاط النوعى للمحلول قبل التجربة}}{\text{النشاط النوعى للمحلول بعد التجربة}}$$

ويلاحظ فى هذه التجربة أن الباحثين اعتبروا أن أى كالسيوم ذائب فى التربة كان حتماً فى صورة الكالسيوم المتبادل الذى تم تقديره وأن هذا الجزء الذائب هو الذى أدى إلى خفض النشاط الإشعاعى النوعى فى النظام ، وقد استخدمت نفس الطريقة لقياس الكميات المتبادلة من كاتيونات أخرى فى التجربة وقد كان للمغنسيوم والبوتاسيوم نصيب كبير فى هذا المجال ، ولقد وجد أن هناك تطابقاً تاماً بين الكميات المتبادلة والمقدرة بالنظائر المشعة وتلك المقدرة بالطرق الكيميائية ، ولقد تم قياس كاتيونات أخرى متبادلة مثل المنجنيز والزنك والحديد والكوبلت والنحاس إلا أن هناك مشاكل عديدة فى قياس هذه العناصر فى

الأراضى القلوية أو المحتوية على كميات كبيرة من أكاسيد المنجنيز ، ففى هذه الأراضــــى يكون التبادل النظائرى للعناصر الصغرى بطئ وغير دقيق ، كما أن الكمية الموجودة منــها فى محلول التربة عادة ما تكون قليلة جداً لدرجة يكون معها القياس غير دقيق .

٢- تقدير السعة التبادلية الكاتيونية للتربة :

يمكن باستخدام النظائر المشعة تقدير السعة التبادلية للتربة ، ولتقديرها يجب أولاً أن تتشبع التربة بالكاتيون المناسب وبعد الغسيل يزال الجزء الزائد مــن الكــاتيون المشــبع ، ويمكن قياس الكمية المميزة مباشرة أو قياسها بالتبادل النظائرى كما سبق توضيحه بالنسبة للكالسيوم ، وتقدر السعة التبادلية للتربة بأخذ كميات من التربة تتراوح بين ٥٠ ملجـم و٣ جرام من التربة تشبع بواسطة محلول من كلوريد السترانشيوم-٨٥ معروف نشاطه النوعى ثم تتم عمليات التشبع والغسيل المتتابع ثم يفصل المحلول بالطرد المركزى ويقدر النشـــاط النوعى للسترانشيوم فى التربة .

٣- تقدير حركية العناصر فى التربة Mobility of Nutrients

إن حركة العنصر تؤثر مباشرة على الحجم من التربة الذى يمكن للنبات أن يســحب منه العنصر الغذائى ، وحركة العنصر تحدث فى محلول التربة ؛ لذا فإن تكوينــه ســيكون العامل الأول فى حركية العنصر ، وتؤدى دقة وحساسية التقنية النظائرية إلى تقدير أهميــة المكونات المختلفة الموجودة فى محلول التربة ، ويمكن ملاحظة حركية العناصر فى التربــة وتقديرها مباشرة باستخدام النظائر المشعة ، وذلك كما يلى :

* انطلاق العناصر فى محلول التربة :

قام Hinkely عام ١٩٧٩ باستخدام طريقة التخفيف النظائرى لتقديــر البوتاســيوم والروبيديوم والسيزيوم والكالسيوم والاسترنشيوم والباريوم فى ٠,٣ جم من محلول التربة ، ويمكن تقدير كمية العنصر المنطلق من سطوح الامتزاز المختلفة (معادن طين مواد عضوية) بحساب كمية العنصر المشع المحتجز على السطوح الفعالة والكمية الباقية فى محلول التربة بعد حدوث عملية إتزان كيميائى فى تجارب الاتزان ، ويمكن عن طريقــها حســاب قــوى

الارتباط من معادلات لانج ماير أو فرويندلش ونماذج الامتزاز المختلفة المعرفة كيميائيـاً ، وهل سلوك الامتزاز يكون عكسياً أو من الدرجة الأولى أو غير عكسى أى يمكـن دراسـة الحركية الكيميائية Kientic للعنصر تحت الدراسة ، كما يمكن دراسة الصور التى يكـون عليها العنصر المتبقى فى التربة باستخدام طريقة التجزئ Fractionation .

* حركية العناصر فى التربة (الغسيل) Leaching

يمكن دراسة حركية العناصر فى التربة باستخدام النظائر المشعة حيث يمكن وضـع العنصر المشع على سطح عمود من التربة ثم يزاح بإضافة الماء ويقـدر معـدل التحـرك بالتحليل المتتابع للمحلول المزاح من عمود التربة أو بتحليل قطاعات أو أجزاء متتالية مـن عمود التربة والنظائر المشعة التى تشع أشعة جاما أو بيتا قوية يمكن تقديرها بـالعد فـى المحلول المزاح أو فى التربة نفسها بدون فصل كيماوى ، ونتيجة لهذه الدراسات تبيـن أن عناصر مثل الزنك-٦٥ والمنجنيز-٥٤ والكوبالت-٥٦ والحديد-٥٩ هى عناصر متحركـة فى طبقات التربة عند غسيلها بالماء فى بعض الأراضى الحامضية والغنية بالمادة العضوية وكذلك الأراضى الرملية ، وباستخدام النظائر المشعة يمكن حساب النسبة المئويـة لغسـيل وإزالة العنصر ، وتلك الثابتة فى عمود التربة .

* انتشار العنصر Diffusion

عندما يتوقف انسياب محلول التربة تصبح العنصر بالانتشـار ذات أهميـة كبـيرة بالنسبة للنبات ، وهذا الانتشار يحدث عند وجود تدرج فى التركيز ناشئ عـن امتصـاص النبات أو تفاعلات الترسيب أو تحلل السماد فى التربة ولقد درست هـذه الظـاهرة بنجـاح باستخدام النظائر المشعة .

ولقد وجد أن معامل الانتشار الذاتى فى التربة كان حوالى ٠,٠٠٠١ من قيمته فـى المحلول المائى ، ولقد وجد أن الأيونات الأحادية لها انتشار أكبر من الثنائية ، وأن معـامل الانتشار تقل بجفاف التربة ، وأن هذا هو أهم عامل يؤثر على انتشار العنصر فـى التربـة بالإضافة إلى مستوى تركيز العنصر فيها مثلاً ، وجد أن إضافة الفوسـفات الذائـب إلـى الأراضى الرملية تزيد من معامل الانتشار الذاتى الفوسفات فى التربة .

٤- كيمياء المادة العضوية فى التربة ودراسات النظائر :

لقد ثبتت أهمية التأثير النافع للمادة العضوية فى التربة على إنتاجية النبات منذ زمن بعيد ، ومن ثم فإن الإبقاء على مستوى مناسب من المادة العضوية فى التربة أصبح من أهم الأهداف فى مجالات كيمياء الأراضى ، وترجع أهمية المادة العضوية إلى دورها كمخزن لعناصر النبات مثل النيتروجين والكبريت والفوسفور وإمكانية انطلاق هذه العناصر بعد تحلل المادة العضوية ، كما أن المادة العضوية تؤثر على الخواص الكيميائية والطبيعية للتربة مما ينعكس بالتالى على امتصاص النبات للعناصر الغذائية ، كما أن وجود البقايا العضوية فى التربة يحسن من السعة التبادلية للتربة ومقدار تغير السعة التنظيمية للتربة مع درجة حموضة التربة ، كما أن كمية المادة العضوية تؤثر على النشاط الحيوى بالتربة ويرجع تراكم المادة العضوية فى التربة إلى معدل دخول المادة العضوية فى التربة ومعدل تحللها ، والمواد الأولية للمادة العضوية فى التربة هى الأنسجة النباتية للمترسبات والمواد المتخلفة عنها والأنسجة الحيوانية ومخلفاتها ، وكل هذه المواد تتحلل وتتحول بفعل ميكروبات التربة ، ويلزم لكيمياء التربة وتفاعلات العناصر بها معرفة :

١- الظروف والعوامل التى تؤدى إلى تراكم المادة العضوية فى التربة بمستوى مناسب .

٢- المعدل الذى ينطلق به العنصر أو يدخل به فى المادة العضوية نتيجة النشاط الحيوى.

٣- أصل المادة العضوية وطبيعتها الكيميائية وتوزيعها الطبيعى بين الأجزاء المختلفة إذ سيكون له الأثر الكبير فى دراسة ديناميكية وتحولات المادة العضوية فى التربة ، وكان لاستخدام النظائر قيمة كبيرة ليس فقط للحصول على مقياس للكربون العضوى ، وبالتالى للنتروجين الداخل بالتربة سنويا ، ولكن فى إمكانية تقييم معدلات تحلل المادة العضوية تحت الظروف الطبيعية أو تحت ظروف خاصة ، وكذلك تستخدم المواد المشعة فى دراسة العوامل المؤثرة على معدلات تحلل وتغيير عناصر التربة كما استخدمت النظائر أيضا فى دراسة مختلف معدلات تحول المادة العضوية . ويستخدم الكربون -١٤ لدراسة الكربون المضاف للتربة من النباتات المنزرعة ، ووجد أن الكربون المضاف للتربة من النبات يعادل ٢٥٪ من جملة المضاف من المصادر الأخرى . كما استخدمت مواد مرقمة بالكربون-١٤ ، وتم تتبع تحللها أما بقياس معدل انبعاث غاز $^{14}CO_2$ أو بقياس معدل تناقص كمية البقايا العضوية المرقمة بالكربون -١٤ ، والمواد المستخدمة

تتدرج من مواد بسيطة يمكن تحديد تكوينها الكيميائى مثل الجلوكوز والاسيتيات والأحماض الأمينة ، وهى مواد يمكن ترقيمها بالكربون -١٤ إلى مواد معقدة مثل الأنسجة النباتية أو البقايا الحيوانية أو مكونات مركبة من مواد عالية الوزن الجزيئى مثل مشتقات الأحماض الأمينية والبيتيدات .

وعموماً فإنه يمكن بإضافة المواد المرقمة للتربة تتبع سلوكها وتحللها ، وتعرف هذه الطريقة بالـ Radioresirometry أو القياس الإشعاعى للأكسدة العضوية فى التربة ، ومثال لذلك تم قياس أكسدة الجلوكوز المرقم بالكربون إلى $^{14}CO_2$ فى التربة المجففة هوائياً والتربة العادية والتربة المسخنة ووجد اختلاف كبير فى درجة أكسدة الجلوكوز بها $^{14}CO_2$ ، وقد درس أثر العوامل المختلفة التى تؤثر على أكسدة المواد العضوية بالتربة مثل الأس الهيدروجينى والتهوية وأثر الحرارة والمحتوى الرطوبى ووجود مواد مثبطة وأخرى مشجعة .

ثانيا - استخدام النظائر المشعة فى الدراسات البيولوجية :

يمكن تقسيم الاستخدامات الحيوية للنظائر المشعة فى الدراسات البيولوجية كما يلى :

أ- الاستخدام الحيوى للنظائر المشعة فى الدراسات البيولوجية (IN VIVO) :

حيث تتم هذه الدراسة للتعرف على توزيع العناصر والمبيدات الكيماوية والأسمدة داخل أعضاء النبات فى حالة النمو الطبيعى ، وذلك بتغذية النباتات أو رشها أو حقن الأوراق بالأسمدة أو الكيماويات المرقمة بالنظائر المشعة ، ثم يتم تصوير هذه المركبات داخل النبات أو المحاصيل أو الأنسجة الحيوانية بطريق التصوير الذاتى الإشعاعى Autoradiography ، مثال ؛ لذلك تصوير الفوسفور وتجمعه فى نبات الفول المصاب بمرض صدأ الفول .

طرق التصوير الذاتى الإشعاعى :

هذه الطرق مزيج من التحليل الحيوى فى الكائن الحى وخارجه ، حيث أنها تعتمد أساسا على متابعة دخول العناصر أو المركبات اللازمة للجسم الحى (نبات أو حيوان أو إنسان) فى النسيج الحيوى والأعضاء الحية ؛ وذلك باستخدام النظائر المشعة لهذه العناصر

والمركبات وإدخالها فى الجسم الحى بواسطة التعاطى عن طريق تغذية النبات أو الشروب أو الحقن للحيوان ثم بعد ذلك يتم تصويرها باستخدام الصفائح الحساسة للضوء أو المخلوط الحساس للضوء بطريقتين هما :

١- التصوير الذاتى الداخلى للأعضاء أو الأنسجة Macro-Scale .

٢- التصوير الذاتى الداخلى للخلية وتواجد المركبات بداخلها Micro-Scale .

وذلك لدراسة ميكانيكية التفاعلات البيولوجية داخل الخلية الحية وخارجها حيث تستخدم هذه الطريقة للتعارف على عمليات التفاعلات الكيميائية البيولوجية وتكوين المركبات الحيوية فى الخلية والأعضاء المختلفة ، مثال لذلك ما تم نشره عن عملية الأيض اليودى للغدة الدرقية وتكوين هرمونات الغدة الدرقية فى النسيج الخلوى لها .

ومن أنواع الاختبارات والمعالجات المستعملة فى مجال واحد من المجالات المذكورة وهو مجال الغدة الدرقية يمكن ذكر بعض منها كما يلى :

١- امتصاص الغدة الدرقية لليود المشع .

٢- سرعة دورة اليود الاستقلالية .

٣- استجابة المريض للعلاج .

٤- الاستجابة للمعالجة بالأدوية المضادة للدرقية .

٥- تحديد نسبة هرمونات الغدة الدرقية للدم .

ب- *الاستخدام الحيوى للنظائر المشعة فى التحاليل البيولوجية على عينات بيولوجية خارج النبات أو الكائن الحى أو الدم :*

هناك طرق مختلفة لاستخدام النظائر المشعة فى التحاليل البيولوجية تتلاءم وطبيعة المواد المراد تحليلها فى العينات البيولوجية كالآتى :

١- *طريقة تحليل المركبات الحيوانية والعناصر باستخدام طريقة الفصل الراديو كروماتوجرافى* Radiochromatography

هذه الطريقة تعتمد أساساً على فصل المكونات الكيميائية البيولوجية فى المحاليل البيولوجية بأحد الطرق التالية :

أ- الفصل الكيميائى للمواد على الورق الكروماتوجرافى تحت تأثير جهد كهربائى .
ب- الفصل للمواد بالخاصية الشعرية على الورق الكروماتوجرافى .
ج- الفصل للمواد بالخاصية التكتلية والخاصية الشعرية على صفائح من الراتنجات والسيليكا Thin Layer chromatography ، حيث يتم تحديد موقع المواد المفصولة على الورق الكروماتوجرافى أو الصفائح أو على مواد الراتنجات عادة بالأصباغ مما يعطى نتائج غير محددة ، ويحتاج إلى كمية كبيرة من جزيئات المواد المفصولة حتى تعطى الواناً واضحة يمكن تحديد مركزها ، بينما يمكن استخدام المواد المشعة والمركبات المرقمة بالإشعاع وعدها على أجهزة العد الإشعاعى المخصصة بوضوح ودقة حتى لو وجدت بكميات ضئيلة حيث يعتمد فى هذه الحالة على العد الإشعاعى لهذه المواد وليس على ألوانها كما لا يوجد تداخل بين المواد مثلما يحدث فى التحديد بالصبغات ، وتستخدم هذه الطريقة فى الأبحاث العلمية والتشخيص .

٢- *طريقة تحليل المركبات الحيوانية والعناصر باستخدام التخفيف الإشعاعى للمحاليل البيولوجية المرقمة بالنظائر المشعة* Isotopic Dilution Technique .

هذه الطريقة تعتمد على مبدأ أنه ليس هناك أى فرق بين النظير المشع والنظير غير المشع للعنصر الواحد فى التفاعلات الكيميائية وعمليات الأيض العنصرى للمادة فى داخل النسيج الحيوى ، وفكرة التفاعل كالآتى :

$$\text{النشاط الإشعاعى Specific Activity (Sp.A.)} = \frac{\text{كمية المادة المشعة}}{\text{الوزن الكلى لها}} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{كمية المادة المشعة}}{\text{الحجم الكلى لها}}$$

∴ **كمية الإشعاع** = *النشاط الإشعاعى* × *الوزن الكلى لها*
أو = *النشاط الإشعاعى* × *الحجم الكلى لها*

ولو وجدت كمية من المادة غير المشعة غير معروف وزنها أو حجمها ويضاف إليها كمية مشعة من نفس المادة ومعروف وزنها والنشاط الإشعاعى لها وكمية الإشعاع فإن :
كمية المادة المشعة Total activity = *النشاط الإشعاعى الاول* (Sp.A1) × *الوزن الاول* (W1)

وبعد الإضافة يحدث تخفيف لها من المادة غير المشعة وبالتالى يصبح لها نشاط إشعاعى جديد ، ويمكن معرفته بالعد الإشعاعى لها .

كمية الإشعاع = النشاط الإشعاعى بعد التخفيف × الوزن الجديد (المجهول) .

$$\therefore \text{الوزن المجهول} = \frac{\text{النشاط الإشعاعى قبل التخفيف} \times \text{الوزن الأول}}{\text{النشاط الإشعاعى بعد التخفيف}}$$

وتستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع وحساس جدا فى تحديد كمية ميـــاه الآبـــار الجوفية وكمية الدم وكمية المادة فى جسم الإنسان باستخدام نظريـــة التخفيـــف الإشـــعاعى لمكونات هذه السوائل .

٣- استخدام المركبات البيولوجية المرقمة بالنظائر المشعة لتعيين وتقدير مثيلاتـها مـن المركبات البيولوجية فى التحاليل Radioligand Techniques كالآتى :

أ- طريقة التشبع الإشعاعى للمركبات البيولوجية باستخدام المركبـــات المرقمـــة بالنظـــائر المشعة Saturation Analysis Assay .

ب- طريقة الترابط والتزاحم البيولوجى للمركبات الحيوانية العادية والمرقمة فى التحـــاليل البيولوجية Competitive Protein Binding .

من منطلق عدم وجود أى فرق بين المركبات البيولوجية غير المرقمة بالنظائر المشـعة والمرقمة بالنظائر المشعة من حيث التفاعلات الكيمائية والأيض البيولوجـــى والارتباطـــات الحيوية فإن نسبة الارتباطات الحيوية لهذه المركبات بعامل الارتباط فى الدم تكون بنســـبة تواجد كميتها فى المحلول البيولوجى ، وتستخدم هذه الطريقـــة فـــى تعييـــن الـــهرمونات والمركبات الحيوية فى المحاليل البيولوجية بشرط أن يكون المركب المراد تقديره مستخرجا من المحلول البيولوجى قبل التقدير ، وأول من استعمل هذه الطريقة هو العالم الإنجلـــيزى Ekin عام ١٩٦٠ .

ج- استخدام القدرات المناعية والمركبات المرقمة المشعة لتقدير المركبات العضويـــة فـــى المحاليل البيولوجية Radioimmino Assay (RIA) :

تعتمد هذه الطريقة أساسا على التزاحم الترابطى للمركبات البيولوجية المرقمة بالنظـائر المشعة وغير المرقمة بالنظائر المشعة مع الأجسام المضادة لهذه المركبـــات ، وحيـــث أن العامل المؤثر فى هذا الترابط البيولوجى بين المركب والجسم المضاد هـــو نســـبة تواجـــد المركب المرقم إلى المركب غير المرقم بالنظائر المشعة . وتستخدم هذه الطريقة على نطاق

واسع لتقدير الهرمونات والإنزيمات والعقاقير الطبية والأدوية والمخدرات فى الدم بكفاءة عالية جداً .

د- استخدام القدرات المناعية الإشعاعية فى تحليل المركبات البيولوجية Immunoradiometric Assay (IRMA) .

هـ- استخدام القدرات الارتباطية للخلية الحية والمركبات المرقمة المشعة لتعيين المركبات الحيوية Radioreceptor Assay (RRA) .

و- استخدام القدرات الإنزيمية والنظائر المشعة لتقدير النشاط الإنزيمى فى المحاليل البيولوجية Radioenzym Assay (REA) .

من التقديرات الأساسية للمحاليل البيولوجية تقدير النشاط الإنزيمى للأنزيمات ، وهذا يتم عادة باستخدام التفاعلات التى تعطى ألواناً أو تركيزات معينة تقاس بالمقياس اللونى أو الطيفى وهذا يتحتم توفير كميات معينة حتى يتم هذا التقدير ، ألا إن استخدام المركبات المرقمة بالنظائر المشعة لتقدير النشاط الإنزيمى فى العينات البيولوجية يعطى التقدير بواسطة العد الإشعاعى للمركبات الأولية المشعة والمركبات المنتهية فى التفاعل والتى بدورها تكون هى الأخرى مشعة كالآتى :



$$SP^* + E \Leftrightarrow SP^*E \Leftrightarrow P^* + E^*$$

حيث :

SP^* = المركب البيولوجى المستخدم لتقدير الإنزيم .

E = المركب المرقم بالنظائر المشعة .

SP^*E = المركب البيولوجى المستخدم لتقدير الإنزيم المرقم بالنظائر المشعة - مرتبط بالإنزيم .

P^* = المركب البيولوجى المرقم والمتأثر بالإنزيم .

E^* = مركب بيولوجى لم يتم التأثير عليه بالإنزيم .

ثم يتم فصل المركبات البيولوجية المنتهية فى التفاعل من المركبات البيولوجية التى لم يتم عليها التأثير الإنزيمى ثم يتم العد الإشعاعى لكل منهما :

$$\therefore \text{النشاط الإنزيمى} = \frac{100 \times P^*}{SP^*}$$

ثالثا - إستخدام النظائر المشعة فى مجال الطب النووى :

إن توفر احدث أنظمة أجهزة القياسات الإشعاعية قد أدخل تعديلات كثيرة على سوق المنتجات الطبية النووية ، ومن أجل تقليل الجرعات الإشعاعية التى يتعرض لها المرضى المعالجين ، ومن أجل الحصول على أفضل النتائج والمعلومات بواسطة زيادة معدل العد الإشعاعى فإن النظائر المشعة ذات العمر القصير ، والتى تنبعث منها إشعاعات جاما - تتراوح طاقتها بين ١٠٠-٢٥٠ كيلو الكترون فولت - قد تطور إنتاجها أكثر فأكثر ، وحالياً يعتبر نظير التكنيسيوم -٩٩ من أكثر النظائر المشعة استخداماً فى مجال الطب النووى التشخيصى ؛ وذلك فى صورة بيرتكنيتات Pertechnetate أو على هيئة مركبات مرقمة عديدة ، وللأغراض الطبية فإن هناك ما يقرب من ٣٠ نظير مشع مختلف يتم إنتاجها بواسطة المفاعل النووى ، كما أن هناك أكثر من ٥٠ مركب مرقم قد تم تحضيرها ، إلا أن المركبات المرقمة بالتكنيسيوم فقط (حوالى ١٢ مركب شائع الاستخدام) هى التى تدخل فى أكثر من ٧٥٪ من الدراسات والقياسات الطبية فى مجال الطب التشخيصى .

التطبيقات فى مجال العلاج الطبى

يستخدم فى هذا المجال مصادر مشعة مغلقة أو غير مغلقة (مفتوحة) .

أ- المصادر المشعة المغلقة

هناك تطبيقان رئيسيان الأول يستخدم مصادر قوية لأشعة جاما لعلاج الأورام العميقة إلا أن إدخال أجيال جديدة من أجهزة العلاج الإشعاعى أهمها ما يسمى بالمعجل الخطى قلل من استخدام أجهزة الكوبالت نظراً لما لهذه المعجلات من مزايا خاصة بمعدل الجرعة الإشعاعية الكبيرة وقوة النفاذ وعدم الحاجة للاستبدال الدورى للمصدر المشع ، كما أن هناك مشكلة للتخلص من مصادر الكوبالت المستهلكة ، وفى مصر حالياً ١٣ جهاز كوبالت فى القاهرة والاسكندرية وطنطا وأسيوط ، ويقابل ذلك خمسة أجهزة معجل خطى ، ومن المنتظر أن يزيد عدد الأجهزة الأخيرة فى مصر وذلك بعد التغلب على الصعوبات الفنية الخاصة بالتشغيل والصيانة . والتطبيق الثانى فى مجال العلاج يستخدم مصادر مشعة ضعيفة نسبياً على شكل ابر وأسلاك أو أنابيب أو حبيبات منخفضة الثمن نسبياً ، ولها تطبيقات هامة خاصة فى أورام الرأس والرقبة وغيرها .

ودقيقة فإنه يجب تركيز المادة المشعة المستخدمة فى المصدر الإشعاعى فى أصغر حجم ممكن .

ويستخدم الآن فى المجال الصناعى وعلى نطاق واسع الطرق الإشعاعية المبنية على قياس طيف الأشعة السينية ، وكذلك القياسات المبنية على التحليل بالتنشيط الإشعاعى ، ومثال على استخدام النظائر المشعة فى مصانع الألومنيوم توظيفها كوسيلة من وسائل مراقبة الإنتاج ، كذلك فى مصانع الصلب والمنتجات غير الحديدية فإن النظائر المشعة استخدمت لدراسة معدل حركة المواد بواسطة أنظمة الرفع وفى عملية تصفية المصهور وتجهيز السبائك ، ولقد اتسع مجال التطبيقات العملية للنظائر المشعة بفضل تطور كل من تقنيات إنتاج النظائر المشعة والأشعة السينية وأجهزة الكشف والقياس الإشعاعى وتطوير طرق تحليل وقياس النيوترونات وإشعاعات جاما .

خامسا – استخدام الطاقة النووية فى مجال البترول :

تستخدم النظائر المشعة المغلقة منذ خمسة عشر عاما فى عمليات تسجيل الآبار البترولية ، وهذه النظائر محفوظة فى أغلفة واقية وحافظة من تأثيراتها الضارة على الإنسان أو البيئة ، وهذه النظائر نوعان :

النوع الأول: يستخدم فى قياسات داخل الآبار لتحديد خواص الطبقات مثل الكثافة والمسامية.
النوع الثانى : يستخدم فى تحديد كميات المكونات البترولية مثل الزيت والغاز فى المياه المالحة ، وهى قياسات حيوية هامة جدا فى عمليات حفر الآبار وتقييم نتائجها بدقة وسرعة لم تكن تتوافر بالطرق التقليدية ، وبذلك أمكن توفير الكثير من الوقت والجهد .

كما تستخدم بعض النظائر المشعة فى الكشف عن عيوب اللحامات ، وخاصة العيوب الداخلية التى لا يمكن رؤيتها بالعين أو بأساليب أخرى ، وطريقة الكشف عن اللحامات بالأشعة تعتبر من أهم الطرق وأدقها ، وخاصة فى حالة اللحامات الواقع عليها ضغوط عالية مثل خطوط الغاز والمستودعات الكروية التى تخزن فيها الغازات ؛ وذلك لضمان سلامة تلك اللحامات ومطابقتها للمواصفات العالمية .

ب- المصادر المشعة غير المغلقة :

بدأ استخدام هذا النوع من العلاج فى التضاؤل ويقتصر حالياً على استخدام اليود المشع فى بعض أمراض الغدة الدرقية ومن الممكن اعادة تنشيط اليود المشع بتعريضه للإشعاع النيوترونى فى المفاعل .

جـ- الفحوص المعملية باستخدام المركبات المرقمة :

تمثل المجال الرئيسى فى الوقت الحالى ، وتمتد استخداماتها لتشمل مجالاً واسعاً يغطى معظم أجهزة الجسم ووظائف الأعضاء ، وتزداد هذه الفحوص والإختبارات عمقاً وتنوعاً يوم بعد يوم ، ويشير الإتجاه الحالى والمستقبلى للبلدان المتقدمة طبقاً لنشرات الوكالة الدولية للطاقة الذرية بفيينا إلى أن إنتاج النظائر المشعة الطبية سوف يتزايد ليس فقط بالطريقة التقليدية باستخدام المفاعلات النووية وإنما أيضاً بواسطة السيكلوترون لإنتاج نظائر مشعة ذات عمر قصير ، وأهمها الثاليوم-٢٠١ واليود-١٣١ والانديوم-١١١ والكريبتون-٨١ والاسترنشيوم-٨٧ والجاليوم-٦٧ والحديد-١٨ ، وقد ساهم توفر المستحضرات الصيدلية المشعة ذات الأعمار القصيرة مع تطور تقنيات الحاسب الآلى واستخدامها فى مجال الطب النووى على نطاق واسع فى تطوير طرق جديدة للاختبارات والكشف الإشعاعى وخاصة فى مجال أمراض التشوهات الخلقية فى أمراض القلب والسرطان والقصور الوظيفى فى الأطفال حديثى الولادة .

ومن هنا يجب تشجيع هذه التطبيقات لفائدتها الطبية المحققة، ويجب تركيز استخدامها فى وحدات متخصصة داخل المستشفيات الكبرى حيث يتوفر العديد من ذوى الخبرات الخاصة والأفراد المؤهلين للعمل فى الإشعاعات المؤنية طبقاً لشروط ومعايير الأمان .

ربعا - استخدام النظائر المشعة فى الصناعة :

استخدام التطوير الإشعاعى بأشعة جاما على نطاق واسع فى الفروع المختلفة للصناعة ، وهناك أربعة نظائر مشعة شائعة الاستخدام فى هذا المجال ، وهى الكوبالت-٦٠ والسيزيوم والاريديوم-١٩٢ والثاليوم-١٧٠ ، ويستخدم نظير الأريديوم-١٩٢ عادة فى التصوير الإشعاعى لخطوط الأنابيب ، ولكى نستطيع الحصول على صور اشعاعية واضحة

نبذة عن المؤلف

حصل على بكالوريوس العلوم الزراعية تخصص علوم الأراضي والمياه بدرجة جيد جداً من جامعة الأزهر عام ١٩٧٢ عمل بوزارة العدل كخبير زراعي حتى عام ١٩٧٨ ثم عمل كمساعد باحث بقسم الأراضي بمركز البحوث النووية – هيئة الطاقة الذرية وحصل على منحة الوكالة الدولية للطاقة الذرية حيث قام بعدة بحوث في مجال استخدامات النظائر الثابتة في بحوث الأراضي عامي ١٩٨٥-١٩٨٦ بهيئة TVA الأمريكية حصل على الدكتوراه من جامعة عين شمس في كيمياء الأراضي عام ١٩٨٧ كما حصل على منحة فولبريت البحثية إلى جامعة كورنل بولاية نيويورك عام ١٩٩٤ تدرج كعضو هيئة تدريس حتى الآن حيث يعمل كأستاذ ورئيس وحدة تلوث المياه والتربة بقسم بحوث الأراضي والمياه – بمركز البحوث النووية بالهيئة.

أشرف على العديد من رسائل الماجستير والدكتوراه ونشر العديد من البحوث في مجال البيئة في الدوريات الدولية والمحلية وكذلك في المؤتمرات الدولية والمحلية.

قام بتأليف كتاب (تلوث البيئة وصحة الإنسان– المعادن الثقيلة والمبيدات) كذلك قام بكتابة العديد من المقالات باللغة العربية في مجالات البيئة والطاقة الذرية تم نشرها في الدوريات المصرية والعربية.

يقوم بتدريس مقررات دراسية لطلبة الدراسات العليا بجامعتي الأزهر والمعهد القومي لعلوم الليزر بجامعة القاهرة كذلك يقوم بالإعداد والإشراف على دورات تدريبية تعقد بالمركز الإقليمي للنظائر المشعة في مجال التقنيات النووية الحديثة ودراسات البيئة لسنوات عديدة.